

Aus der Prothetischen Abteilung
(Direktor: Prof. Dr. K. Fuhr)
der Klinik und Poliklinik für
Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
(Direktor: Prof. Dr. Dr. W. Ketterl)
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

**Vergleichende Untersuchungen über Paßgenauig-
keit, Formtreue und Wasseraufnahme einiger
Prothesenkunststoffe, sowie die Spaltbildung
zwischen Metall und Kunststoff**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde eines Doktors
der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von
Erich Volkmar Torner
aus Königsberg/Ostpreußen

Mainz 1971

1972

Aus der Prothetischen Abteilung
(Direktor: Prof. Dr. K. Fuhr)
der Klinik und Poliklinik
für
Zahn- Mund- und Kieferkrankheiten
(Direktor: Prof. Dr. Dr. W. Ketterl)
der Johannes Gutenberg-Universität
Mainz

Vergleichende Untersuchungen über Paßgenauigkeit, Form-
treue und Wasseraufnahme einiger Prothesenkunststoffe,
sowie die Spaltbildung zwischen Metall und Kunststoff.



Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde eines
Doktors der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes Gutenberg-Universität
Mainz
vorgelegt von
Erich Volkmar Torner
aus Königsberg / Ostpreußen
Mainz 1971



Dekan:	Prof. Dr. A. Mayet
Referent:	Prof. Dr. H. Marx
Korreferent:	Prof. Dr. K. Fuhr

Tag der mündlichen Prüfung:
2. Mai 1972

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung und Aufgabenstellung	S. 1
2. Allgemeines über Feststoffe	S. 2 - 4
3. Literaturverzeichnis	S. 5 - 14
a) Festkörpereigenschaften	
b) Gitterstruktur und Kristallbau	
c) Kristallstruktur und Kristallbau	
Meinen Eltern	
4. Beschreibung verschiedener Verfahren	S. 15
5. Festkörpereigenschaften	S. 16 - 17
6. Versuchsbeschreibung und -durchführung	S. 18 - 23
a) Festkörpereigenschaften	
b) Messen mittels Vertikalanalysator	
c) Messen mittels Analysenwaage	
7. Chemie und Verarbeitung der zu untersuchenden Feststoffe	S. 24 - 34
a) KALK und KALKBREI	
b) KALKBREI	
c) KALKBREI	
d) FVS-1	
e) ANKERS	
8. Statistische Auswertung der Messergebnisse	S. 35 - 44
a) allgemeiner Teil	
b) spezieller Teil	

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Aufgabenstellung	S. 1	
2. Allgemeines über Kunststoffe	S. 2	- 4
3. Literaturüberblick:	S. 5	- 14
a) Paßgenauigkeit und Formtreue		
b) Quellung durch Wasseraufnahme		
c) Spaltbildung zwischen Metall und Kunststoff		
4. Betrachtung verschiedener Meßverfahren	S. 15	
5. Voruntersuchungen	S. 16	- 17
6. Versuchsanordnung und -durchführung	S. 18	- 23
a) Prüfkörperformen		
b) Messen mittels Werkzeugmeßmikroskops		
c) Wägen mittels Analysenwaage		
7. Chemie und Verarbeitung der zu untersuchenden Kunststoffe:	S. 24	- 34
a) PALADUR und PALAPRESS		
b) PALADON 65		
c) LUXENE 44		
d) PVS-H		
e) ANDORAN		
8. Statistische Auswertung der Meßergebnisse	S. 35	- 66
a) allgemeiner Teil		
b) spezieller Teil		

9. Diskussion der Ergebnisse	S. 67 - 69
10. Zusammenfassung	S. 70 - 71
11. Literaturverzeichnis	S. 72 - 75

1. Einleitung und Aufgabenstellung	S. 1 - 10
2. Allgemeines über Kinetik	S. 11 - 15
3. Literaturübersicht	S. 16 - 25
4. Aufgabenstellung und Versuchsaufbau	S. 26 - 35
5. Versuchsergebnisse und -auswertung	S. 36 - 45
6. Diskussion der Ergebnisse	S. 46 - 55
7. Zusammenfassung	S. 56 - 57
8. Literaturverzeichnis	S. 58 - 65

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Im 20. Informationsbrief vom Februar 1970 über "besser saugende Prothesen" mit Polyapress-Spritzguß, herausgegeben von dem Siemens Dental-Depot, werden die Vorzüge des Polyapress-Spritzgußverfahrens und seines Kunststoffes PVS-H (ein modifiziertes Methakrylat) hervorgehoben:

1. höchste Paßgenauigkeit u. Formtreue
2. hervorragende Anspritzfähigkeit an Stahlkonstruktionen
3. keine Monomereinwirkung auf die Schleimhaut

Letzterem Punkt wird in einer Dissertation von SCHLAMP (27) nachgegangen.

In vorliegender Arbeit soll experimentell nachgeprüft werden, inwieweit die Punkte 1. und 2. tatsächlich dem Spritzkunststoff PVS-H zu eigen sind. Zu diesem Zwecke sind vergleichsweise andere Dentalkunststoffe verschiedenen Herstellungsverfahrens und Chemismus herangezogen worden, wie:

1. ANDORAN (Bayer)
2. PALAPRESS (Kulzer)
3. PALADUR (Kulzer)
4. PALADON 65 (Kulzer)
5. LUXENE (Luxene Inc., New York)

Außerdem erstreckt sich die Untersuchung auf die Wasseraufnahme bzw. Quellung der Kunststoffe.

Anmerkung: Der Kunststoff PVS-H heißt heute POLYAN 2000 mit geringen Verbesserungen der mechanischen Eigenschaften laut Hersteller.

2. Allgemeines über Kunststoffe

Alle Kunststoffe sind makromolekular und bestehen aus einem Gemisch polymerhomologer Verbindungen mit Molekulargewichten von vielen Tausenden bis zu einigen Millionen. Moleküle in diesem Bereich nennt man Makromoleküle. Darin sind die Atome durch die aus der niedermolekularen organ. Chemie bekannten Bindungen homöopolar verknüpft und nicht durch schwächere Kräfte, wie durch "van der Waalsche Kräfte" oder durch Wasserstoffbrücken.

Die Makromoleküle von Hochpolymeren können linearkettenförmig, verzweigt oder räumlich vernetzt sein. Die linearen und verzweigten Kunststoffe sind thermoplastisch, die räumlich weitmaschig vernetzten bilden die Elastomeren und die engmaschig vernetzten werden als Duomere bezeichnet.

Diese Verschiedenheit im strukturellen Aufbau hat Einfluß auf die mechan. Eigenschaften eines Kunststoffes: Verzweigungsgrad und sterische Anordnung der Seitengruppen wirken sich z.B. auf die Einfrier- und Erweichungstemperatur aus. Auch der Polymerisationsgrad, d.h. die Zahl der zu einer Makromolekülkette vereinigten Monomeren, hat wesentlichen Einfluß auf die mechan. Eigenschaften des Polymerisates. Schlag- und Kerbschlagzähigkeit, sowie der Widerstand gegen Spannungsrisbildung, nehmen u.a. meistens mit wachsender Kettenlänge zu. Die höhere Viskosität des plastifizierten Materials erschwert jedoch die Verarbeitbarkeit (daher haben die spritzbaren Dentalkunststoffe notwendigerweise ein niedrigeres Molekulargewicht).

Bisher haben sich die Methakrylate für die Herstellung von Zahnersatz am besten bewährt. Auch das damit verbundene Herstellungsverfahren des Anteigens von Polymeren.

mit Monomeren entspricht durchaus den Forderungen der zahnärztlichen Prothetik. Diese Meinung von DEWEIN (7) schließt jedoch nicht aus, daß die Anwendungsmöglichkeiten für neue Kunststoffe in der Zahnheilkunde stets überprüft werden müssen. Die meisten der modernen Kunststoffe lassen sich nun aber nicht nach dem Anteilverfahren verarbeiten, sondern müssen im Spritzverfahren hergestellt werden.

Die Spritzverfahren lassen sich in Spritzgießen und in Spritzpressen unterteilen. Beide Verfahren weisen erhebliche Unterschiede auf, die sich in den Eigenschaften der Endprodukte widerspiegeln. Eine vergleichende Übersicht zeigt JANKE (16):

Spritzgießen

(thermoplastisch) :

Verkürzung der von Beginn an kürzeren Ketten, keine Möglichkeit der Vernetzung; Anfällig gegen Craquelierung.

Strömungsbedingte Anisotropie, d.h. Orientierung und Streckung der Moleküle, starke innere Spannungen. Unterschiedliche Festigkeit in verschiedenen Richtungen.

Schnelle Abkühlung; ungleichmäßige Schrumpfung, Verwerfung der Prothese, Spannungen, kalter Fluß.

Spritzpressen

(chemoplastisch) :

Verlängerung der von Beginn an längeren Ketten mit Möglichkeit der Vernetzung; hohe Warm- und Dauerfestigkeit, beständiger gegen Rißbildung.

Geringe oder keine Ausrichtung und Streckung der Moleküle, geringe innere Spannungen. Gleiche Festigkeit in allen Richtungen.

Langsame lineare Abkühlung; Bessere Schrumpfungsbedingungen, größere Paßgenauigkeit, geringere Spannungen.

Spritzgießen
(thermoplastisch) :

Spritzpressen
(chemoplastisch) :

Inhomogenitäten
(Strömungslunker)

Homogene Struktur.

Schnellster Massefluß:
schlechte Verbindung mit
den künstlichen Zähnen.
Springen von Porzellanzähnen,
Verdrängung der
Klammerenden.

Langsamer Massefluß:
durch Polymerisation gute
Verbindung mit den künstlichen
Zähnen, keine
Beschädigung derselben,
keine Verdrängung der
Klammerenden.

Das Spritzpressen ist dadurch gekennzeichnet, daß ein Gemisch der verschiedenen chemischen Komponenten, aus denen sich der fertige Kunststoff zusammensetzt, in die Form gepreßt wird. Erst dort laufen die chemischen Reaktionen ab, bei denen das endgültige Produkt entsteht (chemoplastisches oder Naß-Verfahren).

Beim Spritzgießen wird das Polymerisat meist als Granulat verarbeitet, indem es im Heizzyylinder eines Spritzgerätes auf eine materialspezifische Temperatur aufgeschmolzen wird. Der verwendete Kunststoff muß die Eigenschaft haben, beim Erwärmen zu erweichen. (= Thermoplast) Die erweichte plastifizierte Masse wird mit einem Kolben unter einem bestimmten Druck in einer vorgeschriebenen Zeit durch eine Düse in die Kuvette eingespritzt. Dieses in der Kunststoffindustrie vorherrschende Verfahren wird als thermoplastisches Verfahren bezeichnet und hat bis heute in der zahnärztlichen Technik nur beschränkt Eingang gefunden.

3. Literaturüberblick

a) Paßgenauigkeit und Formtreue

In seinem Vortrag in Hamburg 1962 führte JANKE (17) aus:
"...die Forschung muß sich immer nach den Forderungen der Klinik richten. Vielleicht sollte dem Problem der Maßgenauigkeit und Maßbeständigkeit von Prothesen erhöhte Beachtung geschenkt werden. So führt z.B. eine Schrumpfung lateraler Prothesenteile um ein Drittel Millimeter für die Dauer der Tragezeit zu einer Durchblutungsstörung der Schleimhaut dieses Gebietes und bei längerem Anhalten dieses Zustandes muß es regelmäßig zu Kammschwund kommen."

Trotz dieses Hinweises sind relativ wenige Arbeiten zu diesem Thema bekannt geworden. In Verbindung mit anderen Untersuchungen zeigt es sich immer wieder, daß der Formveränderung der Materialien zu wenig Beachtung geschenkt wird. Nach JANKE (17) sind aber gerade die mangelnde Paßform und Maßbeständigkeit die am meisten auftretenden Fehler.

Bezüglich der Wichtigkeit einer exakten Paßform sagt JANKE (17): "Die gute Paßform der Prothese, d.h. die Übereinstimmung der Griffseite mit dem Schleimhautrelief des Prothesenlagers ist für die Funktionsfähigkeit von entscheidender Bedeutung. Grobe Fehler ergeben sich durch Schaukeln der Prothese, Druckstellen und schlechte Haftung zu erkennen." JANKE (17) erachtet Inkongruenzen geringeren Grades als noch gefährlicher; sie verursachen anämische Schleimhautbezirke, die meist im vestibulären Anteil des Alveolarkammes gelegen sind und sich nicht durch Schmerzen bemerkbar machen. Daueranämische Bezirke führen schließlich zur Kieferkammatrophy, was das oft bemerkte Nachlassen des Prothesenhaltes zur Folge hat.

Nach SCHRÖDER (26) hat die Paßgenauigkeit auf Grund der

Untersuchungen von ANDERES (1) nichts mit der Polymerisationsschrumpfung zu tun. Das "Klemmen" der heißpolymerisierten Prothesenbasen auf dem Modell ist eine reine Folge der thermischen Kontraktion des Materials während der Abkühlung von 100°C auf Raumtemperatur. Bei der Abkühlung erfolgt eine entsprechende Kontraktion des Polymerisates, so daß die Basis auf das Modell aufschumpft. Wenn auch MARX (19), MAYER (22) und andere der Ansicht sind, daß hierbei auch die Polymerisationskontraktion eine Rolle spielt, so ist doch der unterschiedliche thermische Ausdehnungskoeffizient von Gips und Kunststoff von ausschlaggebender Bedeutung. Im Gegensatz zum Heißpolymerisat polymerisiert das Autoakrylat bei einer niedrigeren Temperatur, denn von außen wird keine Wärme zugeführt und die im Inneren entstehende Reaktionswärme wird selbst während der Polymerisation gleichmäßig durch den Gips nach außen abgeführt. Es findet nach SCHRÖDER (26) also weder eine thermische Expansion noch Kontraktion statt, die Basis schrumpft nicht auf das Modell auf, der Sitz ist infolgedessen einwandfrei. MARX (19) stellt angesichts der Tatsache, daß aufgrund seiner Untersuchungen kaltpolymerisierte Platten eine wesentlich exaktere Ausgangsform gegenüber den warmpolymerisierten haben, die Frage, warum diese Polymerisationsart noch nicht als Verfahren der Wahl anerkannt wird, zumal die modernen Autopolymerisate den Warmpolymerisaten bezüglich der Dauerbiegefestigkeit praktisch nicht mehr nachstehen. Die absolute Paßgenauigkeit ist letztlich nicht 100 % möglich, da sie zum guten Teil in der Chemie des Kunststoffes und seiner physikalischen Konstanten begründet ist.

Eine andere Seite ist die Frage nach der Abhängigkeit der Paßgenauigkeit von der Laborverarbeitung. Die Genauigkeit der Prothesenbasis wird nach BAUER (4),

JANKE (15), MARX (19), SCHRÖDER (26) und anderen insbesondere von einer werkstoffgerechten Polymerisation bestimmt. Die Polymerisation hat unter einem bestimmten Druck zu erfolgen, bei den Heißplasten muß zusätzlich auf eine geeignete Temperaturführung geachtet werden, um ein stürmisches Anspringen zu verhindern. Außerdem ist zur Erzielung weitgehend spannungsfreier und nicht deformierter Prothesenbasen eine langsame und gleichmäßige Abkühlung erforderlich. Das Abschrecken in kaltem Wasser - wie es leider noch oft geschieht - ist absolut materialfeindlich. Eine dafür verständliche Erklärung gibt JANKE (15):

"Kühlen wir schnell ab, dann nimmt die Außenhaut des Körpers eine Lage ein, die ihr bei Zimmertemperatur nicht gemäß ist, d.h. der feste Rahmen ist zu groß. Der innere Raum kann bei Zimmertemperatur nicht mit genügend Masse gefüllt werden. Es kommt zu Dehnungsspannungen, also inneren Zugspannungen, die, da sich das System im statischen Gleichgewicht befindet, in der Außenhaut Druckspannungen induziert. Wird nun eine solche spannungshaltige Prothese ausgearbeitet, d.h. werden Teile der Außenhaut verletzt, so wird die äußere Druckzone teilweise vernichtet und es muß sich ein neues Gleichgewichtssystem einstellen. Das ist dann nur unter Deformation der Prothese möglich. Die innere Druckzone (gaumenseitig, unpoliert) streckt sich und wölbt die Prothesenränder nach außen. Das ist vielleicht mit eine Erklärung dafür, daß manche anfänglich gut saugenden Prothesen nach ca. 14 tägiger Tragezeit nicht mehr so fest sitzen.

Die Ursachen für das Nachlassen des Prothesenhaltes sind doch sehr vielschichtig; sie können nicht allein vom Werkstoff bzw. Verfahren, noch von möglichen Verarbeitungsfehlern im Labor gesehen werden. So spielt etwa die Art des Abdrucks (Kompressions- oder Entlastungsabdruck)

eine Rolle, an der wiederum das Abdruckmaterial beteiligt ist. Weiterhin sind der Zeitpunkt des Abdrucks nach Extraktion, sowie Ausmaß und Geschwindigkeit der Gewebsreaktion auf den "Fremdkörper Prothese" von Bedeutung für den Saugeffekt. Ferner wird bei falscher Bißhöhe, ungünstiger Okklusion und Artikulation gewiß eine Beeinträchtigung des Prothesenhaltes erfolgen.

Über die Bedeutung der Formtreue einer Prothesenbasis meint APPENZELLER (3): "...die Beibehaltung der ursprünglichen Form der Prothesenbasis ist eine fundamentale Forderung, da diese die genaue Adeptation auf der Kiefer-schleimhaut und eine einwandfreie Artikulation gewährleistet."

Die dimensionellen Veränderungen, die während des klin. Gebrauchs auftreten, beruhen meist auf Wasseraufnahme durch den Kunststoff. Infolge der Quellung des Kunststoffs läßt sich unter anderem eine Erklärung dafür finden, daß eine beim Einsetzen gut saugende obere Vollprothese allmählich ihren festen Sitz verliert.

SCHRÖDER (26) sieht in der Quellung keinen Nachteil, sondern eine Möglichkeit, die Schrumpfung zu kompensieren. RINK (24) andererseits beurteilt das Phänomen der Quellung nicht positiv: "...mit einer erhöhten Wasseraufnahme ist gleichzeitig eine Steigerung der Formveränderung des Zahnersatzes verbunden." WOELFEL (35) gibt die durchschnittliche Expansion verschiedener Akrylkunststoffe mit 0,02 % bis 1,01 % an und meint weiterhin, daß die Quellung durch Wasseraufnahme die Schrumpfung während der Verarbeitung nicht ausgleicht. Interessant ist die Feststellung des gleichen Autors, daß klinisch getragene Prothesen in ihrem dimensionellen Verhalten gleich stabil wie rein technisch angewandte Prothesen waren. Letztere wurden lediglich in Wasser aufgehoben. Einer Arbeit von MOWERY (23) und Mitarbeitern zufolge bestehen zwischen heiß- und kaltpolymerisierten Prothesen in Bezug auf die Formveränderungen, die sie während des Gebrauchs erleiden, keine signifikanten Unterschiede.

b) Quellung durch Wasseraufnahme

HOUWINK (12) erklärt die Quellbarkeit von Stoffen durch ihren strukturellen Aufbau und die Verwandtschaft mit dem Lösungsmittel. Er unterscheidet 3 Gruppen: unlösliche, quellbare und lösliche. Die Methakrylate gehören bedingt zu den quellbaren, eine beschränkte Anlagerung fremder Moleküle, wie Wasser und Alkohol, ist möglich. Das Lösungsmittel lagert sich zwischen die langgestreckten Moleküle, weitet die Zwischenräume aus, kann aber die einzelnen Moleküle nicht gänzlich voneinander trennen und mit steigendem Polymerisationsgrad nimmt die Löslichkeit ab.

Typisch für die Hochpolymeren ist, wie bereits erwähnt, die Quellung: es werden niedrigmolekulare Flüssigkeiten aufgenommen, ohne daß sich der Zusammenhalt und die Form des Hochpolymeren verliert. Es resultiert lediglich eine Gewichts- und Volumenzunahme. Unbegrenzte als auch begrenzte Quellung ist abhängig von der Temperatur und dem Molekulargewicht. Vernetzte hochpolymere Systeme können sich nur mit einer begrenzten Menge einer niedrigmolekularen Flüssigkeit unter Aufquellen homogen mischen.

Nach STUART (32) sind die zwischenmolekularen Kräfte in einem Hochpolymeren von Bedeutung für die Löslichkeit, Schmelzpunkt, Wasseraufnahme und Anfärbbarkeit. Von besonderer Bedeutung sind Gruppen, welche Wasserstoffbrücken bilden können, wie $-\text{CONH}-$, $-\text{OH}$ und NO_2 , aber auch starke Dipole wie CN , CO , CCl . Wiederum ist nicht nur die Zahl dieser Gruppen je Gewichtseinheit des Materials wesentlich, sondern auch ihre Anordnung im einzelnen und die hieraus sich ergebenden gegenseitigen Bindungen zwischen den funktionellen Gruppen der einzelnen Ketten. Je mehr funktionelle Gruppen zur van der Waalschen Bindung zwischen den Makromolekülen verwendet werden, desto weniger Gruppen

bleiben für andere Gruppen übrig, so daß ein und dieselbe Substanz ganz verschiedene Eigenschaften haben kann, je nachdem, welcher Prozentsatz der funktionellen Gruppen in einem bestimmten Fabrikationsstadium noch zugänglich ist.

Nach Quellungsuntersuchungen von RITZE (25) liegt das absolute Maximum der Quellung im Unendlichen, das praktische Maximum ist dagegen schon nach 58 Tagen erreicht. Danach werden nur noch kleinste Mengen aufgenommen, z.B. beträgt die Quellungszunahme in den nächsten 20 Tagen nach dem praktischen Maximum nur noch 0,09 % (Gesamtquellung für PALADON nach 60 Tagen ca. 1,5 %).

Nach RITZE (25) liegt die Quellung für Kunststoffe im bewegten Wasser etwas höher als im ruhigen Medium. Unwesentliche Unterschiede zeigen dagegen seine Versuchsreihen bei Raumtemperatur und bei 37°C.

Die Gewichtsmessungen der Kunststoffproben geben nicht bloß Aufschluß über die Wasserabsorption, sondern auch über die Lösungserscheinung. Da beide Vorgänge, einerseits die Wasseraufnahme, andererseits das in Lösung gehen von niedrigmolekularen Substanzen aus dem Kunststoff (Farbstoffe, Residualmonomer u.a.) sich gleichzeitig abspielen, sind sie nicht scharf voneinander zu trennen. Es ist lediglich festzustellen, welcher der beiden Prozesse gerade die Oberhand hat und ob demzufolge das Gewicht in Zu- oder Abnahme begriffen ist.

Die Größe der Wasserabsorption ist von besonderem werkstoffkundlichen Interesse, da das eindringende Wasser

verschiedene Werkstoffqualitäten verändern kann: im allgemeinen werden die mechanischen Eigenschaften schlechter (außer Schlagzähigkeit), insbesondere wird die Härte reduziert. Während der Quellung können mit dem eindringenden Wasser auch Substanzen aufgenommen werden, die Nährböden für Bakterien bilden.

c) Spaltbildung zwischen Metall und Kunststoff

Kennzeichnend für die metallischen Werkstoffe sind der vollkommene kristalline Aufbau der Atome zu Gittern bestimmter Konfiguration und die für den Zusammenhalt des Gitterverbandes wirksamen Kräfte zwischen den frei beweglichen Elektronen der äußeren Atomschale und den elektrisch positiven Atomen im Innern.

Im Gegensatz zum kubischen oder hexagonalen Ordnungszustand der metallischen Atomgitter sind die Kunststoffe fadenförmig oder netzförmig aufgebaut. Die Bildung der Hochpolymeren beruht auf der Fähigkeit des Kohlenstoffatoms, mit 4 anderen Atomen je ein gemeinsames Elektronenpaar zu besitzen. Deshalb können sich viele Kohlenstoffatome zu Ketten aneinanderlagern.

Der unterschiedliche Aufbau der Metalle und Kunststoffe macht es erklärlich, daß eine chemische Verbindung beider Stoffe auszuschließen ist. Nach JANKE (13) kommt für das Verbundsystem lediglich eine mechanische Retention in Frage, die um so fester ist, je größer die Rauigkeit der Metalloberfläche ist, in die der Kunststoff einfließen kann.

Der mechanische Kontakt beider Materialien kann schon in der Verarbeitungsphase oder während der Gebrauchsperiode verloren gehen. Die Gründe liegen vor allem in den unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Metall und Kunststoff. Die Ausdehnungskoeffizienten der Methakrylate übertreffen die meisten Dentallegierungen um das Vierfache. Nach KNISCHEWSKI (18) weist z.B. PALADON 65 einen Wärmeausdehnungskoeffizient von $80 \text{ mal } 10^{-6}$ auf, während dieser bei der Dentallegierung Wironit nur ca. $20 \text{ mal } 10^{-6}$ beträgt. Während der Abkühlung von 100°C

auf Zimmertemperatur nimmt das Volumen des Polymerisates also um 0,4 % ab, das des Metalls nur um 0,1 %. Diese Tatsache hat einerseits eine unerwünschte Spaltbildung zwischen Metall und Kunststoff zur Folge, andererseits ein Aufschumpfen des Polymerisates auf umschlossene Metallkörper. Da aber die Kontraktion durch die Verteilung der Kunststoffmasse beeinflusst wird, dünnere Kunststoffpartien rascher die Wärme ableiten als dickere, ergeben sich Spannungen in den unterschiedlichen Materialbezirken. Es kommt nach SCHWICKERATH (29) zu Ablösungen der oberflächlichen Schichten des Polymerisates von der Unterlage, Spannungsrissen und nicht zuletzt zu Verwerfungen des Werkstückes. Außerdem wird das Verbundsystem in der Gebrauchsperiode einem ständigen Temperaturwechsel ausgesetzt. Dabei treten infolge der unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten zusätzliche Spannungen auf. Nach BREUSTEDT (6) bauen z.B. Polyamide diese Spannungen durch elastische und gleitende Dehnung (= kalter Fluß) ab, während Polycarbonate dagegen kaum einen kalten Fluß aufweisen, so daß es bei der Einlagerung von Metallbügeln zu Rißbildungen kommen kann.

Bei den im chemoplastischen Verfahren hergestellten Kunststoffen ist die Polymerisationsschrumpfung für die Metall-Kunststoffverbindung insofern nachteilig, als sich dabei unerwünschte Schwundrichtungen ergeben, die weiterhin zu einer Spaltbildung führen. Auch der Verlust an Monomer während der Tragezeit fördert die Randspaltbildung. Die Spaltbildung wird auch nicht gänzlich durch Quellung der Kunststoffe beseitigt, zumal die richtungsgebenden Faktoren während der Quellung nicht die gleichen wie bei den Kontraktionsvorgängen sind.

Häufig äußert sich eine Spaltbildung zwischen Kunststoff und Metall in dunklen Verfärbungen der Übergangszonen, was sich besonders störend an Kronen und Brücken im sichtbaren Bereich auswirkt.

Für Prothesen mit Metalleinlagen sind jedoch in ihrer Bedeutung folgende Punkte weitreichender:

1. Schleimhautaffektionen durch das von STEGEMANN (31) beschriebene "Belüftungselement"
2. Geruchsbildung durch bakterielle Besiedelung des Spaltes
3. störender Metallgeschmack

4. Betrachtung verschiedener Meßverfahren

Es gibt eine ganze Reihe von Arbeiten, die sich mit dem Problem der Paßgenauigkeit und Formtreue befaßt haben.

Um experimentell nachzuweisen, wie paßgenau z.B. Oberkiefer-Prothesen bzw. entsprechende Prüfkörper sind, gibt es verschiedene Möglichkeiten der Kontrolle.

JANYE (17) hat eine besondere Prüfmethodik entwickelt: durch Verwendung einer stilisierten Ok-Prothese aus Metall kann man eine beliebig oft zu wiederholende Hohlform in Gips der Kuvette herstellen. Diese stilisierte Prothese entspricht am ehesten einer klinischen Prothese. Hiermit lassen sich Dimensionsänderungen vieler Partien des Kunststoffes ohne weiteres mit dem Original vergleichen. Gemessen werden Markierungen im Kunststoff mittels Meßmikroskops. ANTHONY (2) prüft die Paßgenauigkeit von Prothesenkunststoffen, indem die Prothese einfach auf das Meistermodell aufgesetzt wird und die Paßfähigkeit an den Grenzen mittels modifiziertem Komparator bestimmt wird.

MARX (19) hat mit Hilfe des Meßmikroskops das Ausmaß des dorsalen Randspaltes bei eingebetteten Prothesen zwischen Gips und Kunststoff gemessen. WOELFEL und PAFFENBARGER (35) haben Dimensionsänderungen an Oberkiefer-Prothesen während der klinischen Anwendung messen können, indem in die 2. Molaren feine Meßmarken aus polierten Stahlpins mit eingravierten Kreuzen einzementiert wurden. In seinem Beitrag zur Formkonstanz von Kunststoffprothesen versucht SCHUSTER (26) die Paßform gegenüber dem Metallmodell mittels Messung der zwischen Platte und Modell eingeschlossenen Luftmenge zu beurteilen. Eine technisch recht interessante, klinisch aber wenig aufschlußreiche Versuchsanordnung ist die nach HOLLAND und LOCKOWANDT (11) angewandte röntgenfotogrammetrische Methode zur Bestimmung von Formveränderungen an Prothesen während der Gebrauchsperiode. WICHE (34) hat Kunststoffkörper auf ihren Randschluß mit inliegenden Metallplättchen mittels Penetrieroil untersucht und die Überlegenheit der Kaltpolymerisate bei der Befestigung von Kunststoffsaateln an Metallgerüsten festgestellt.

5. Voruntersuchungen

SCHWICKERATH (29) hat ein eigenes Prüfverfahren entwickelt, das exakte Aussagen über die Formgenauigkeit nach Herstellung und Formhaltigkeit unter bestimmten Bedingungen machen soll. Als Grundmodelle werden 5 mm breite Streifen halbiertter Messingrohre mit einem Außendurchmesser von 40 mm und einer Wandstärke von 2 mm benutzt. Als genügend scharfkantig bei exakter Einbettung zeigen sich die oberen inneren Kanten. An diese Meßkanten wird die Fadenkreuzlinie des Meßmikroskops angelegt - damit ist der Prüfkörper ausgerichtet - und nach Horizontalverschiebung des ausfahrbaren Tubus die Meßstrecke abgefahren.

Meine Voruntersuchungen nach diesem Verfahren haben aber gezeigt, daß diese Methode 2 Fehlerquellen aufweist, die ein exaktes Meßverfahren in Frage stellen muß:

1. die U-förmigen Prüfkörper müssen erst genau auf dem Meßtisch nivelliert werden und
2. sind die zweifelsohne in Gips zwar scharf abgeformten Innenkanten der Messing-Modellkörper in den Kunststoff-Prüfkörper aber abgerundet, da die Kunststoffe schrumpfen.

Für PVS-H hat sich eine größere Abrundung der Kante ergeben als für PALAPRESS. (s. Abb. 1)

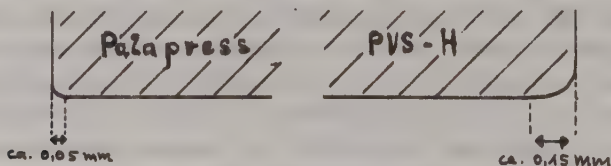


Abb. 1 Verschieden große Abrundung der Kanten bei PALAPRESS und PVS-H durch Schrumpfung.

Außerdem hat sich die Rundung von PVS-H durch das auffallende Licht im Meßmikroskop als Lichtreflex in Form einer scharfen und hellen Linie gezeigt, was infolge einer spiegelglatten Oberfläche der Rundung bedingt ist, wogegen PALAPRESS nur einen verwaschenen Streifen mit einem Ablesefehler von ca. 0,06 mm gezeigt hat.

6. Versuchsanordnung und -durchführung

a) Prüfkörperformen

Die beiden Fehlerquellen im vorigen Meßverfahren konnten im eigenen Verfahren dadurch ausgeschaltet werden, daß ein neuer Prüfkörper mit planer Auflage und parallel zueinander verlaufenden Außenflächen der beiden Schenkel entworfen wurde: (s. Abb. 2)

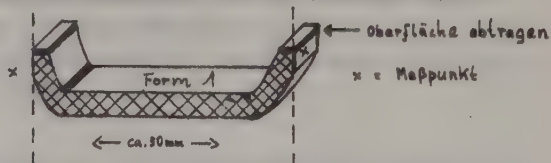


Abb. 2 : Grundmodell aus Messing zur Reproduktion der entsprechenden Hohlform in Gips (Form 1)

Die Oberfläche der beiden Schenkel des Prüfkörpers wurde drucklos mittels maschinell rotierender Sandpapierscheibe (wasserberieselt) um ca. 0,5 mm abgetragen. Auf diese Weise erhielt man eine messerscharfe Kante, an die das Fadenkreuz genau angelegt werden konnte. Da in den endgültigen Untersuchungen mit dem Werkzeugmeßmikroskop gearbeitet wurde, hat sich das Abtragen mittels Sandpapierscheibe erübrigt.

Die Randspaltbildung zwischen Metall und Kunststoff wurde als Differenz der Länge des Kunststoffplättchens zur Länge der Stahlform, gemessen mittels Werkzeugmeßmikroskops an den diagonalen Schnittpunkten der kurzen Seitenflächen, beurteilt. (s. Abb. 3)

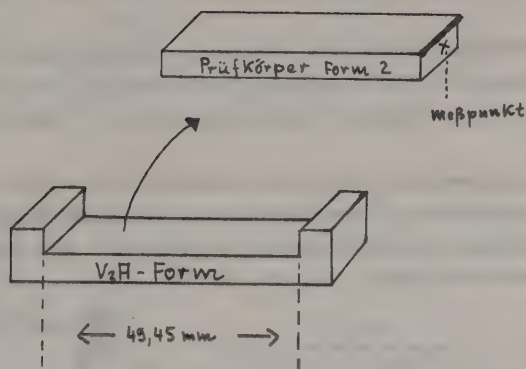


Abb. 3 : Stahlform zur Bestimmung des Spaltes zwischen Metall und Kunststoff mit herausgenommenem Prüfkörper der Form 2.

Anmerkung: In den Voruntersuchungen wurde die oberste Schicht des Prüfkörpers abgetragen, um scharfe Meßkanter für das Anlegen des Fadenkreuzes zu haben.

b) Messen mittels Werkzeugmeßmikroskops (s. Abb. 5)

Verwendet wurde das Werkzeug - Meßmikroskop 100/50 "digital" (ZEISS Werke), und zwar mit der mechanischen Meßeinrichtung und Doppelbildokular (Vergrößerung 15 fach).

Voraussetzung für diese Messung ist, daß der Prüfkörper im Verhältnis zum Kugeltaster genügend dick ist. Die Ausrichtung des Prüfkörpers erfolgt mit der mechanischen Meßeinrichtung: (s. Abb. 4)

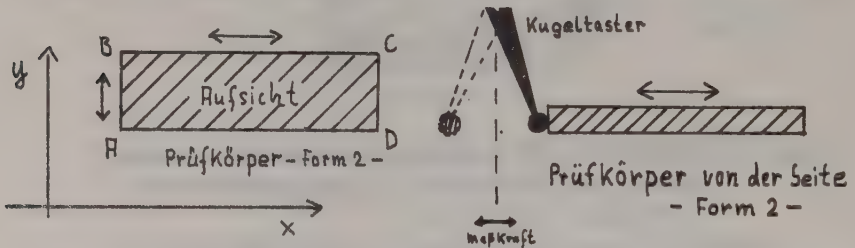


Abb. 4 : Ausrichtung des Prüfkörpers mittels mechan. Meßeinrichtung.

Der Prüfkörper liegt dabei so auf dem Kreutztisch, über Spannschiene mit Pratze festgespannt, daß die Bezugskante AB in der y-Koordinate verläuft. Die mechanische Meßeinrichtung wird so am Objektiv befestigt, daß die Tasterbewegung in der x-Koordinate erfolgt. Die Richtung der Meßkraft muß je nach Anfangslage eingestellt werden. Die beiden Striche im Doppelbildokular bringt man z.B. nahe bei A zur Deckung. Dann fährt man den Querwagen nach vorn (4), nahe Punkt B. Decken sich die Striche in dieser Stellung nicht, so muß mit Schraube (1) justiert werden. Je nach Neigung der Bezugskante AB muß man die Schraube so drehen, daß die Striche zusammen- oder auseinanderwandern (probieren). Man stellt mit Schraube (1) jeweils

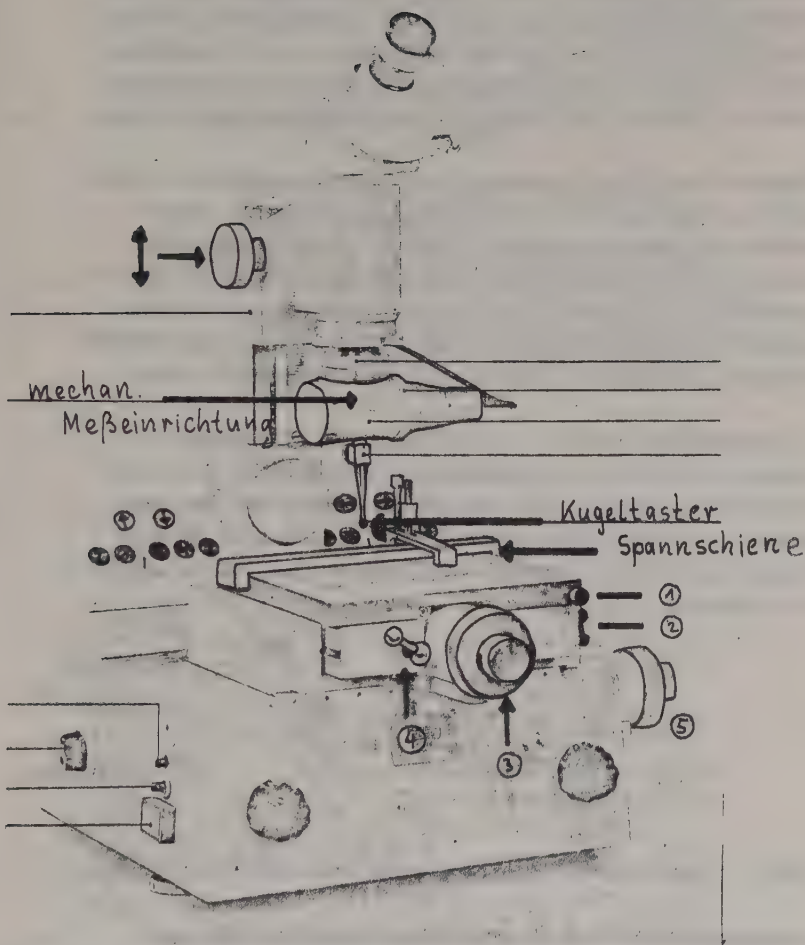


Abb. 5 Werkzeugmeßmikroskop 100/50

nur etwa den halben Betrag des Strichabstandes nach, den Rest mit Fahren des Tisches in y-Koordinate mit Rändelschraube (3). Das Justieren wird so oft wiederholt, bis keine Strichbewegung mehr beim Verfahren des Tisches zwischen den Punkten A und B festzustellen ist.

Nachdem die Bilder annähernd zur Deckung gebracht wurden, wird die Anzeige der x-Koordinate genullt (5). Dann werden die Doppelbilder bei AB zur Deckung gebracht - Knopf (5) herausziehen und durch Drehen den Tisch in x-Koordinate bewegen, Knopf wieder eindrücken - Danach durch Tischverschiebung (2) die Bilder von CD zur Deckung bringen. Die Anzeige entspricht dem Abstand AB - CD.

Die Wegmessung erfolgt in 2 Stufen, wobei die Anzeige digital ist, d.h. sie erscheint als komplette Zahl. Die erste Stufe bewirkt die Anzeige des Meßwertes vor dem Komma (mm u. cm). Die zweite Stufe bewirkt die Anzeige hinter dem Komma (zehntel, hundertstel und zweitausendstel Millimeter).

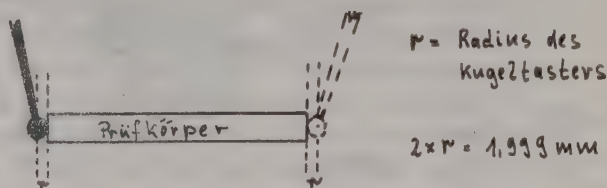


Abb. 6 : Kugeltaster am Prüfkörper von der Seite gesehen

Anmerkung: Der Kugelradius des Tasters wird bei der Anzeige des Meßwertes nicht berücksichtigt. Daher muß bei Außenmessung (s. Abb. 6) $2 \times r$ (= Durchmesser) vom Meßwert abgezogen werden.

c) Wägen mittels Analysenwaage

Vor jeder Längenmessung wurden die 5 Prüfkörper jeder Kunststoffreihe im klimatisierten Raum (21°C, konstante Luftfeuchtigkeit) auf einer Analysenwaage gewogen. Um eine exakte Wägung zu gewährleisten, wurde folgendermaßen vorgegangen:

1. Meßzeitpunkte werden für alle Prüfkörper eingehalten.
2. Die in Leitungswasser gehängten Kunststoffe werden mit Löschpapier getrocknet, dann mit trockener Pinzette vorsichtig auf die Waagschale der Analysenwaage gelegt.

7. Chemie und Verarbeitung der zu untersuchenden Kunststoffe

a) PALADUR und PALAPRESS

Von den "selbsthärtenden" Kunststoffen, auch Autopolymerisate genannt, werden PALADUR und PALAPRESS von der Firma KULZER zum Vergleich herangezogen. Die beiden Kalt-Plaste lassen sich ebenso wie das heißpolymerisierende PALADON 65 im sogenannten "chemoplastischen Verfahren" herstellen: bei der Vermengung von Pulver (= Polymeres) und Flüssigkeit (= Monomeres) in einem bestimmten Verhältnis entsteht das Polymerisat ohne jegliche Wärmezufuhr. Die Basis der Flüssigkeit ist der monomere Methylester der Methakrylsäure, der durch einen Stabilisator vor Selbstpolymerisation geschützt wird. Andere Verbindungen wiederum beschleunigen die Bildung von Makromolekülen. Solche Katalysatoren sind die organischen Peroxide, wie z.B. das Benzoylperoxid, Bestandteil des Pulvers. Durch exogene Wärme wird der Methakrylsäuremethylester durch Zugabe von Benzoylperoxid als Katalysator in ca. 20 min. polymerisiert. Eine Kalt-härtung aber entsteht erst dann, wenn dem Akrylatgemisch ein Akzelerator im Monomeren beigesetzt wird: z.B. tertiäres Amin.

Beim Anteigen von Pulver und Flüssigkeit kommt es dann zu einer Redox-Reaktion zwischen dem Katalysator Peroxid und dem Akzelerator Amin, was die Schnellpolymerisation des Akrylatgemisches bei Zimmertemperatur bewirkt. Dabei zeigt sich ein nachteiliger Einfluß auf die Farbstabilität des Kunststoffes: eine allmählich auftretende gelbliche Verfärbung, die mit einem Anfallen von dunkelfarbigem Verbindungen bei der Redox-Reaktion zu erklären ist.

Deshalb wurde das neuere Produkt PALAPRESS aminfrei gehalten und besitzt Polymerisationsbeschleuniger, die keine Verfärbung des Polymerisates verursachen (z.B. Toluolsulfinsäure). Zur Verarbeitung der beiden Autopolymerisate mit Einbettung unter Preßdruck von 2,5 atü soll ein kurzer Überblick ausreichen:

1. Anmischen

Pulver und Flüssigkeit werden bei PALADUR im Verhältnis 5 : 2 gemischt, eine halbe Minute gut durchgespatelt und ca. 3 min. gut quellen lassen. Mischungsverhältnis bei PALAPRESS 10 : 4 und 2 min. länger quellen lassen.

2. Stopfen

Kurzes Durchkneten vor dem Stopfen. Teig dann gleichmäßig in die Hohlform verteilen und mit Überschuß stopfen.

3. Pressen

Küvettenhälften werden - ohne Kunststoffolie zwischenzulegen - zusammengebracht und unter der Presse langsam bis auf 2,5 atü unter Druck gesetzt und 20 min. unter Preßdruck gehalten, dann erst erfolgt die Ausbettung.

Anmerkung: Für sämtliche Prüfkörper in dieser Arbeit wurde "ANDORAN" Hartgips verwendet. Das Mischungsverhältnis Gips zu Wasser wie 100 : 30 wurde strikt eingehalten. Die Gipsisolierung erfolgte nach Vorschrift des Herstellers (bei ANDORAN und PVS-H war eine Isolierung nicht erforderlich).

b) PALADON 65

ist ein nach modernen Gesichtspunkten weiterentwickelter heißpolymerisierbarer Prothesenkunststoff, der allen Polymerisationsarten, ob Kurz- oder Langzeitverfahren, sowohl im Wasserbad als auch im Heißluftschrank gerecht wird. PALADON 65 ist ein ausgewogen vernetztes Methakrylsäureester-Copolymerisat auf Pulver- und Flüssigkeitsbasis. Die Polymerisation erfolgt in den Versuchen nach der zeitsparenden Kurzzeit-Polymerisation. Die Küvette wird in das kochende Wasser gestellt und gewartet, bis das Wasser wieder kocht, dann sofort die Wärmequelle abschalten und den Topf zudecken. 60 min. verbleibt die Küvette im Wasserbad, dann wird an der Luft abgekühlt und ausgebettet.

Anmerkung: Die vollständige Polymerisation wird erreicht, wenn im Innern der Küvette mind. 15 min. lang 80°C herrschen.

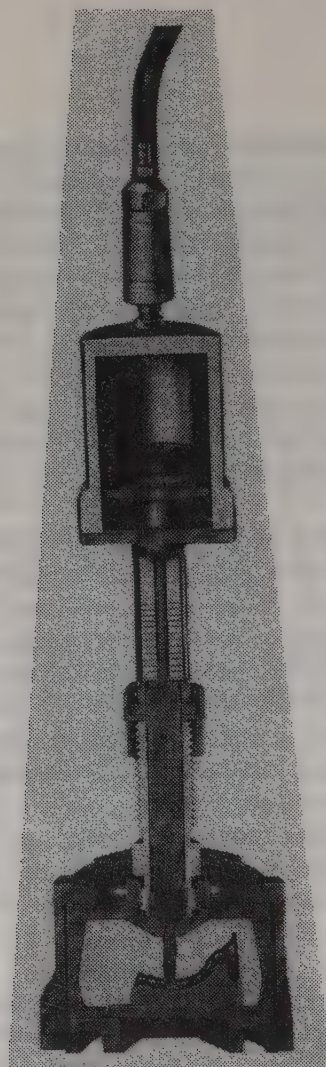
Zur Verarbeitung des Kunststoffes wird das Verhältnis 3,5 Volumenteile Pulver zu 1 Volumenteil Flüssigkeit stets eingehalten. Nach gutem Durcharbeiten mit dem Spatel wird eine Anquellzeit von 10 min. bis zum Stopfen eingehalten. Die gestopfte Küvette setzt man unter der hydraulischen Presse langsam und in mehreren Intervallen bis 2,5 atü unter Druck. Der Preßvorgang umfaßt 15 min. Probepressen ist wegen der guten Fließfähigkeit des Teiges nicht erforderlich. Anschließend wird die Küvette in einen Küvettenbügel unter Druck gespannt und polymerisiert.

c) LUXENE 44

Dieser Kunststoff unterscheidet sich chemisch von den vorangegangenen Akrylaten dadurch, daß nunmehr 3 Komponenten von Monomeren polymerisieren: Vinylchlorid, Vinylazetat und Methakrylsäuremethylester. Die Polymerisation wird bereits vom Hersteller nach einem genauen Mischungsverhältnis in Gang gesetzt. Dieser vorpolymerisierte Kunststoff wird in gelartiger Konsistenz in rechteckigen Täfelchen geliefert, kühl und luftdicht gelagert, um eine Weiterpolymerisation zu vermeiden. Die Verarbeitung des Kunststoffes erfolgt im Schmelz-Preß-Verfahren, das kurz umrissen werden soll: (s. Abb. 7)

Der Messing-Modellkörper wird in der Spezialkuvette (Käfig) eingebettet und nach Abbinden des Gipses vorsichtig herausgenommen. In diese Hohlform werden zwei Drittel der voraussichtlichen Menge LUXENE eingelegt, ein Drittel kommen in schmalen Streifen in den Preßzylinder, der durch eine Öffnung im Kuvettendeckel eine Verbindung mit der Hohlform hat. Auf diese Weise kann die Kuvette so dicht verschlossen werden, daß keinerlei Preßfahne entsteht, da die eingelegten zwei Drittel die Hohlform noch nicht ausfüllen können. Der notwendige Rest wird aus dem Preßzylinder mittels eines Stempels, der mit dem Druckzylinder verbunden ist, während der Polymerisation, nachgepreßt.

Polymerisiert wird 90 min. bei 97°C . Soll eine exakte Polymerisation erfolgen, dann muß eine Wasserschädigung des Kunststoffes vermieden werden. Daher wird der Gips nicht mit Wasser, sondern mit einer sogenannten NFC-Lösung (no foil chemical) angerührt, deren Kristalle den Dampfdruck des Wassers herabsetzen. Zur Isolation des Gipses wird NFC-Separator aufgetragen (ein Alginat, das mit Wasser vermischt ist) und mit kaltem Wasser weichen



Schlauch zur
Preßluft

Ventil-Kupplung

Druckzylinder

Kolben
Zylinder

Kupplung für
Druckzylinder

Kolben des
Druckzylinders

Preßkegel
Käfig

Prothese

Abb. 7

Querschnitt der
LUXENE Preßschmelzanlage.
In der geschlossenen Kuvette wird
LUXENE Vinyl auf das Modell
geschmolzen. Während der
Restpolymerisation steht das Material
unter Luftdruck.
Dieses Verfahren wird von allen
LUXENE-Laboratorien angewandt.

Strahls abgespült. Dadurch wird ein hauchdünner Isolationsfilm erreicht. Um auch dem Isoliermittel Wasser zu entziehen, werden die Küvettenhälften 30 min. in einem Abstand von 15 cm infrarot bestrahlt.

MARXKORS und THOMAS (21) haben 34 totale Ok-Prothesen nach 3 Jahren nachkontrolliert und die ausgezeichnete Paßgenauigkeit und Formkonstanz festgestellt. Der Sitz war fest wie am ersten Tag. Zur Kontrolle waren die Gipsmodelle, auf denen die Prothesen gepreßt waren, aufbewahrt worden. Dies war möglich, da sich die Prothesen wegen der guten Isolierung leicht dem Gipsbett entnehmen ließen. Die Prothesen ließen sich exakt auf das Modell zurücksetzen. Dies kann als Beweis angesehen werden, daß sich die LUXENE-Prothesen in ihrer Form nicht verändert haben.

d) PVS-H Spritzgußkunststoff

In der Zahntechnik ist der Spritzguß nach JANKE (16) nur in begrenztem Umfang anwendbar. Es können im thermoplastischen Verfahren naturgemäß nur weitgehendst unvernetzte Ausgangsstoffe mit relativ niedrigem Molekulargewicht Anwendung finden, das sich durch die thermische Dissoziation beim Erhitzen noch weiter erniedrigt. Die Dauerfestigkeit ist gering. Es kommt aber beim Spritzguß noch hinzu, daß auch die Formbeständigkeit durch die Zwangsstrukturierung der Moleküle nach JANKE (16) ungünstig beeinflusst wird. Auch hat der gleiche Autor innere Spannungen polarisationsoptisch nachgewiesen und kommt zu dem Schluß, daß es unter dem Einfluß von mechan. Beanspruchung und Flüssigkeitsaufnahme zum Abbau dieser Spannungen kommen muß und somit zur Veränderung der äußeren Form (Verwerfung). Von praktischer Bedeutung ist noch die Tatsache, daß die Prothesenbasis quer zur Fließrichtung in ihrer Festigkeit verringert ist.

Ein Vorteil des Spritzgusses besteht darin, daß keine Volumenveränderung während des Spritzvorganges wie beim Anteilverfahren eintreten kann. Trotzdem weisen auch Spritzkunststoffe eine Volumenschwindung durch Abkühlen der heißen Schmelze beim Übergang in den festen Zustand und beim Abkühlen auf Zimmertemperatur auf. Die Schwindung ist um so kleiner, je niedriger die Spritztemperatur liegt und je länger die Nachdruckzeit gehalten wird. Nach BÖHME (5) beeinflusst auch die Formtemperatur die Schrumpfung und Dimensionsstabilität eines Spritzgußteiles. Je höher die Formtemperatur, desto größer ist bekanntlich die Formschrumpfung und um so dimensionsstabiler ist das Teil nach dem Spritzgießen.

Die Herstellung der PVS-H Prüfkörper erfolgte in einer Polyapress-Spritzgußmaschine. (s. Abb. 8)

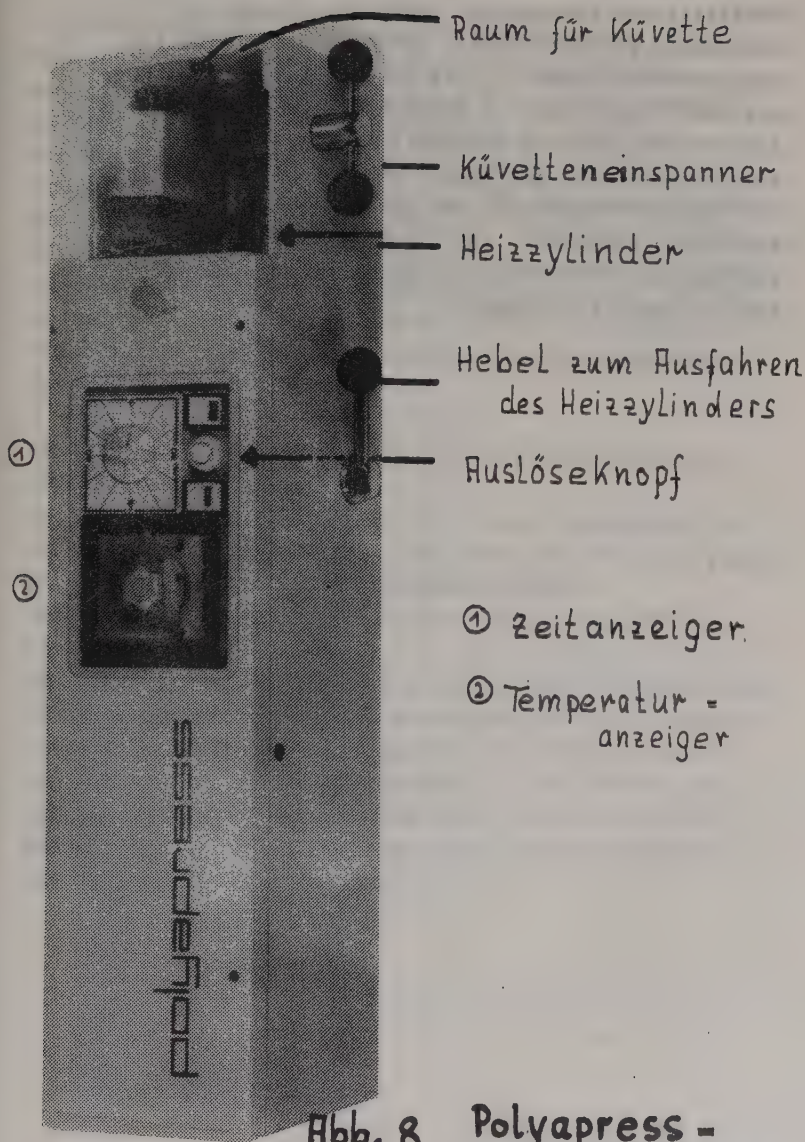


Abb. 8 Polyapress -
Spritzmaschine

Der Prothesenkunststoff PVS-H ist ein spritzbares modifiziertes Methakrylat, das als Granulat in Kartuschen geliefert wird. Der Kunststoff wird aus der Kartusche direkt in die Küvette gespritzt, ohne mit dem Heizzylinder in Berührung zu kommen. Dadurch saubere und einfache Verarbeitung. Die Temperatur wird elektronisch gesteuert, die Aufheizzeit durch eine Zeituhr überwacht. Der Spritzvorgang, durch Knopfdruck ausgelöst, läuft automatisch ab. Die Erzeugung des erforderlichen Spritzdruckes von ca. 10 atü erfolgt durch Kohlensäure.

e) ANDORAN

Auf der Grundlage einer Vielzahl verschiedener Polykohlensäureestertypen wurde eine spezielle Dentalmodifikation für BAYER Leverkusen mit dem Firmennamen ANDORAN entwickelt. In einem besonderen Verfahren werden Glasfasern in optimaler Länge und Quantität vorbehandelt, im Kunststoff verteilt und verankert. Diese Kunststoff-Glasfaserkombination soll die physikalischen Eigenschaften verbessern. ANDORAN kann infolge der Glasfasereinlagerung nicht im üblichen Sinne poliert werden, sondern nur im "Glänzbad". Hier wird die Oberfläche auf chem. Wege durch Anlösung des Materials ein optimaler Hochglanz vermittelt.

ANDORAN ist monomerfrei, weil es ein Polykondensat und kein Polymerisat ist.

Das Kunststoffgranulat wird sofort nach Herstellung in Glasampullen eingeschmolzen. So bleibt das Material gegen alle äußeren schädlichen Einflüsse geschützt.

Der Spritzguß erfolgt vollautomatisch mit der ANDORAN-Spritzmaschine: (s. Abb. 9)

Nach Einschalten des Programms laufen alle Vorgänge unter Steuerung und Kontrolle der Elektronik ab. Der Kunststoff wird im Heizzylinder aufgeschmolzen (330°C) und unter ca. 4,5 atü Druck mittels Preßluft in die Kuvette eingespritzt. Erst nach Verdichtung durch Nachschieben und Erstarrung des Materials unter Druck gibt die Maschine automatisch die Kuvette frei.

Küvette

Heizzylinder

Kompressor-
gehäuse

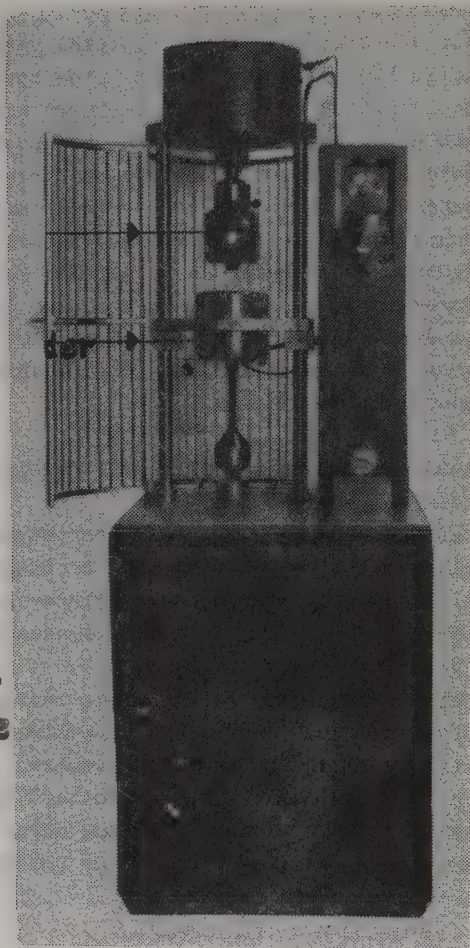


Abb. 9

Die Andoran-
Maschine.

8. Statistische Auswertung der Meßergebnisse

a) Allgemeiner Teil

In dieser Arbeit sollte festgestellt werden, ob sich die einzelnen Kunststoffe im Verlauf des Versuches bezüglich Längen- und Gewichtszunahme unterschiedlich verhalten. Zu diesem Zwecke wurden für jeden Meßzeitpunkt die aus je 5 Prüfkörpern gewonnenen Mittelwerte gebildet und mittels einfacher Varianzanalysen verglichen. Die einfache Varianzanalyse liefert eine Aufteilung der Gesamtstreuung, die aus allen zu einem Zeitpunkt gewonnenen Meßwerte aller Kunststoffe errechnet werden kann, in einen Anteil, der durch die Unterschiede zwischen den einzelnen Kunststoffen bedingt ist, sowie in einen Rest, der auf Unterschiede zwischen den Prüfkörpern innerhalb der Kunststoffe zurückzuführen ist. Die beiden Anteile werden im sogenannten F - Test miteinander verglichen. Kleine F - Werte lassen auf Zufallsunterschiede zwischen den Kunststoffen schließen, größere Werte weisen, falls sie eine gewisse Schwelle überschreiten (tabelliert z.B. in den GEIGY-Tabellen) auf signifikante Unterschiede zwischen den Kunststoffen hin (bei Überschreiten der Schwelle für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 1 %).

Die Ergebnisse sind in den Tabellen (1 - 10) dargestellt. Die Varianzanalyse liefert noch keine Entscheidung darüber, welche Kunststoffe sich unterscheiden. Diese Frage wurde mittels des sogenannten TUKEY - Tests untersucht. Man bestimmt die Konfidenzintervalle auf folgende Art:

$$\bar{x} - \sqrt{\frac{MQ}{n}} \cdot q_{1-p/k} \leq L \leq \bar{x} + \sqrt{\frac{MQ}{n}} \cdot q_{1-p/k/f}$$

$\bar{x}$ der zu beurteilende Mittelwertskonstrast
der Stichprobe

L der entsprechende Konstrast der Grundgesamtheit

$\frac{MAQ_N}{r}$ Varianz des Kontrastes

MAQ_N ist das aus der Varianzanalysentabelle entnommene MAQ für den Nenner im F - Test

r Anzahl der jedem Mittelwert zugrunde liegenden Einzelmessungen.

$q_{1-p/k/f}$ obere Signifikanzschranke des studentisierten Extrembereichs.

$1-p$ Sicherheitswahrscheinlichkeit

K Anzahl der Mittelwerte

f Anzahl der Freiheitsgrade von MAQ_N

Eine Mittelwertsdifferenz ist dann signifikant von 0 verschieden, wenn sie größer ist als der Ausdruck

$$\sqrt{\frac{MAQ_N}{r}} \cdot q_{1-p/k/f}$$

Die errechneten Konfidenzintervalle nach TUKEY sind in den Abb. (10 - 13) zusammen mit den Mittelwerten für die einzelnen Kunststoffe und Meßzeiten dargestellt.

Schließt der Konfidenzbereich für den Mittelwert eines Kunststoffes zu einem Meßzeitpunkt, der in Form schwarzer Balken dargestellt ist, den Mittelwert eines anderen Kunststoffes ein, so sind die vorhandenen Unterschiede als zufallsbedingt aufzufassen, schließt er ihn nicht ein, so unterscheiden sie sich signifikant.

Tab. (1) : Ergebnisse der Varianzanalysen für die Längenänderungen der Kunststoffe Form 1

Zeit	Streuung						F - Wert
	zwischen den Kunststoffen			Innerhalb der Kunststoffe			
	SAQ	FG	MAQ	SAQ	FG	MAQ	
24 Stunden	13,4220	5	2,6844	0,0666	24	0,0028	958
1. Woche	16,1432	5	3,2286	0,0905	24	0,0038	850
2. Woche	17,3524	5	3,4705	0,1285	24	0,0054	643
3. Woche	19,0136	5	3,8027	0,1443	24	0,0060	634
4. Woche	20,5482	5	4,1096	0,1114	24	0,0046	893
5. Woche	21,9933	5	4,3986	0,1202	24	0,0050	880
6. Woche	22,6458	5	4,5292	0,0934	24	0,0039	1161
7. Woche	23,2850	5	4,6570	0,1602	24	0,0067	695
8. Woche	23,6380	5	4,7276	0,1529	24	0,0064	739

Tab. (2) : Ergebnisse der Varianzanalysen für die Längenänderungen der Kunststoffe Form 2

Streuung							
Zeit	zwischen den Kunststoffen			innerhalb der Kunststoffe			F - Wert
	SAQ	FG	MAQ	SAQ	FG	MAQ	
24 Stunden	6,7617	6	1,1269	0,0363	28	0,0014	867
1. Woche	8,6172	6	1,4362	0,0756	28	0,0027	532
2. Woche	10,5780	6	1,7630	0,1056	28	0,0038	464
3. Woche	12,7855	6	2,1309	0,1443	28	0,0052	410
4. Woche	14,6469	6	2,4412	0,0788	28	0,0028	872
5. Woche	17,6161	6	2,9360	0,0880	28	0,0031	947
6. Woche	19,1346	6	3,1891	0,1064	28	0,0038	839
7. Woche	19,4729	6	3,2455	0,0771	28	0,0028	1159
8. Woche	19,7463	6	3,2911	0,0731	28	0,0026	1266

Tab. (3) : Ergebnisse der Varianzanalysen für die Gewichtsänderungen der Kunststoffe Form 1

Zeit	zwischen den Kunststoffen			Streuung innerhalb der Kunststoffe			F - Wert
	SAQ	FG	MAQ	SAQ	FG	MAQ	
1. Woche	1319131,8746	5	263827,9749	9775,8240	24	407,3260	647
2. Woche	2525582,2696	5	505116,4539	19812,0800	24	825,5033	611
3. Woche	3542579,0919	5	708515,8184	25998,0080	24	1083,2503	654
4. Woche	4393531,2737	5	878706,2547	37406,3760	24	1558,5990	563
5. Woche	5191473,5399	5	1038294,7080	44109,6480	24	1837,9020	564
6. Woche	5995687,4293	5	1199137,4859	47657,0600	24	1985,7108	603
7. Woche	6508267,7056	5	1301653,5411	57215,7760	24	2383,9906	545
8. Woche	7040799,5455	5	1408159,9091	61836,1080	24	2576,5045	546

Tab. (4) : Ergebnisse der Varianzanalysen für die Gewichtsänderungen der Kunststoffe Form 2

Streuung						
Zeit	zwischen den Kunststoffen			innerhalb der Kunststoffe		
	SAQ	FG	MAQ	SAQ	FG	MAQ
1. Woche	1575392,5588	6	262565,4265	1007,8840	28	35,9958
2. Woche	3269562,8799	6	544927,1466	2123,6960	28	75,8462
3. Woche	4877181,5907	6	812863,5984	1851,7960	28	66,1355
4. Woche	6488159,3187	6	1081359,8864	2295,9280	28	81,9974
5. Woche	7630283,6554	6	1271713,9426	2998,9520	28	107,1054
6. Woche	8857787,4990	6	1476297,9165	4120,6880	28	147,1674
7. Woche	9740784,5510	6	1623464,0918	5239,0760	28	187,1098
8. Woche	10503023,1331	6	1750503,8555	5516,2360	28	197,0084
						F - Wert
						7294
						7184
						12290
						13187
						11873
						10031
						8676
						8885

Tab. (5) : Konfidenzintervalle nach TUKEY für
die Längenänderung der Kunststoffe

	Form 1	Form 2
Zeit	Konfidenzintervall	Konfidenzintervall
24 Stunden	$\pm 0,012717$ [mm]	$\pm 0,008936$ [mm]
1. Woche	$\pm 0,014815$	$\pm 0,012878$
2. Woche	$\pm 0,017660$	$\pm 0,015278$
3. Woche	$\pm 0,018616$	$\pm 0,017872$
4. Woche	$\pm 0,016300$	$\pm 0,013114$
5. Woche	$\pm 0,016994$	$\pm 0,013799$
6. Woche	$\pm 0,015008$	$\pm 0,015278$
7. Woche	$\pm 0,019672$	$\pm 0,013114$
8. Woche	$\pm 0,019226$	$\pm 0,012638$

Tab. (6) : Konfidenzintervalle nach TUKEY für
die Gewichtsänderung der Kunststoffe

Zeit	Form 1	Form 2
	Konfidenzintervall	Konfidenzintervall
1. Woche	$\pm 0,048505$ [%]	$\pm 0,014870$ [%]
2. Woche	$\pm 0,069051$	$\pm 0,021585$
3. Woche	$\pm 0,079100$	$\pm 0,020156$
4. Woche	$\pm 0,094881$	$\pm 0,022443$
5. Woche	$\pm 0,103033$	$\pm 0,025650$
6. Woche	$\pm 0,107096$	$\pm 0,030067$
7. Woche	$\pm 0,117345$	$\pm 0,033902$
8. Woche	$\pm 0,121991$	$\pm 0,034788$

Tab. (7) Mittelwerte für die Längen der Kunststoffe Form 1 in mm.

Zeit	ANDORAN	FVS-H	PALADUR	PALAPRESS	PALADON	LUXENE
24 Stunden	51,4692	51,5492	51,5828	51,6016	51,4116	51,5592
1. Woche	51,4692	51,5628	51,6068	51,6256	51,4200	51,5640
2. Woche	51,4732	51,5728	51,6236	51,6428	51,4316	51,5660
3. Woche	51,4684	51,5824	51,6404	51,6592	51,4468	51,5640
4. Woche	51,4716	51,6052	51,6488	51,6716	51,4532	51,5692
5. Woche	51,4720	51,6104	51,6608	51,6864	51,4644	51,5636
6. Woche	51,4748	51,6192	51,6688	51,6944	51,4728	51,5640
7. Woche	51,4744	51,6320	51,6708	51,6948	51,4736	51,5676
8. Woche	51,4736	51,6340	51,6724	51,6976	51,4760	51,5680

Tab. (8)

Mittelwerte für die Längen der Kunststoffe Form 2 in mm

Zelt	ANDORAN	PVS-H	PALADUR	PALAPRESS	PALADON	LUXENE	ANDORAN "geglänzt"
24 Stunden	51,1696	51,2484	51,2508	51,2564	51,1916	51,2708	51,1528
1. Woche	51,1724	51,2828	51,2676	51,2728	51,2424	51,2792	51,1536
2. Woche	51,1680	51,2928	51,2840	51,2904	51,2560	51,2784	51,1548
3. Woche	51,1712	51,3036	51,3028	51,3104	51,2676	51,2748	51,1536
4. Woche	51,1736	51,3188	51,3112	51,3180	51,2856	51,2820	51,1536
5. Woche	51,1708	51,3308	51,3256	51,3356	51,2876	51,2788	51,1520
6. Woche	51,1732	51,3460	51,3288	51,3380	51,2936	51,2824	51,1500
7. Woche	51,1720	51,3528	51,3276	51,3416	51,2900	51,2804	51,1532
8. Woche	51,1736	51,3560	51,3332	51,3396	51,2900	51,2804	51,1532

Tab. (9) : Mittelwerte für die Gewichtsänderung der Kunststoffe Form 1
in % der Ausgangsgewichte

Zeit	ANDORAN	PVS-H	PALADUR	PALAPRESS	PALADON	LUXENE
1. Woche	0,2508	0,6247	0,5952	0,5310	0,4608	0,0345
2. Woche	0,2646	0,8526	0,7830	0,7058	0,5925	0,0478
3. Woche	0,2772	1,0033	0,8950	0,8145	0,6773	0,0478
4. Woche	0,2784	1,0568	0,9747	0,8953	0,7281	0,0145
5. Woche	0,2863	1,2056	1,0341	0,9673	0,7724	0,0478
6. Woche	0,2862	1,2922	1,0941	1,0332	0,8309	0,0527
7. Woche	0,2868	1,3563	1,1207	1,0628	0,8373	0,0539
8. Woche	0,2790	1,4028	1,1445	1,0869	0,8554	0,0455

Tab. (10) : Mittelwerte für die Gewichtsänderung der Kunststoffe Form 2
in % der Ausgangsgewichte

Zeit	ANDORAN	PVS-H	PALADUR	PALAPRESS	PALADON	LUXENE	ANDORAN "geglänzt"
1. Woche	0,2464	0,6710	0,6271	0,5365	0,5181	0,0860	0,2088
2. Woche	0,2745	0,9182	0,8447	0,7318	0,6991	0,1083	0,2252
3. Woche	0,2771	1,0927	0,9795	0,8533	0,8062	0,1147	0,2190
4. Woche	0,2819	1,2254	1,0885	0,9560	0,8605	0,0860	0,2180
5. Woche	0,2840	1,3365	1,1655	1,0365	0,9399	0,1300	0,2088
6. Woche	0,2845	1,4334	1,2353	1,0967	0,9960	0,1343	0,2068
7. Woche	0,2824	1,5099	1,2710	1,1344	1,0189	0,1438	0,1961
8. Woche	0,2760	1,5517	1,2945	1,1667	1,0337	0,1327	0,1813

Tab. (11) : Meßwerte über Längen- und Gewichtsänderungen von ANDORAN der Form 1

Prüfkörper	1		2		3		4		5	
	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)
Zeit										
24 Stunden	51,468	3,2157	51,474	3,2242	51,472	3,3240	51,462	3,4873	51,470	3,3106
1. Woche	51,464	3,2240	51,476	3,2324	51,472	3,3325	51,466	3,4956	51,468	3,3188
2. Woche	51,466	3,2243	51,480	3,2330	51,478	3,3327	51,466	3,4963	51,476	3,3193
3. Woche	51,460	3,2248	51,474	3,2332	51,472	3,3331	51,464	3,4969	51,472	3,3197
4. Woche	51,468	3,2248	51,478	3,2332	51,476	3,3332	51,468	3,4970	51,468	3,3197
5. Woche	51,464	3,2251	51,482	3,2336	51,470	3,3333	51,470	3,4973	51,474	3,3199
6. Woche	51,470	3,2251	51,478	3,2335	51,478	3,3333	51,472	3,4973	51,476	3,3200
7. Woche	51,472	3,2251	51,484	3,2335	51,470	3,3334	51,470	3,4973	51,476	3,3200
8. Woche	51,474	3,2249	51,476	3,2332	51,470	3,3331	51,474	3,4970	51,474	3,3198

Tab. (12) : Meßwerte über Längen- und Gewichtshänderungen von PVS-H der Form 1

Prüfkörper	1		2		3		4		5	
Zeit	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)
24 Stunden	51,550	3,1508	51,546	3,1792	51,544	3,2830	51,554	3,0805	51,552	3,2506
1. Woche	51,566	3,1703	51,560	3,2004	51,558	3,3019	51,562	3,1010	51,568	3,2700
2. Woche	51,576	3,1763	51,568	3,2084	51,570	3,3087	51,572	3,1089	51,578	3,2776
3. Woche	51,590	3,1805	51,574	3,2134	51,578	3,3134	51,580	3,1141	51,590	3,2825
4. Woche	51,616	3,1818	51,596	3,2160	51,602	3,3146	51,600	3,1160	51,612	3,2840
5. Woche	51,622	3,1865	51,598	3,2210	51,604	3,3191	51,608	3,1209	51,620	3,2886
6. Woche	51,624	3,1892	51,610	3,2237	51,618	3,3218	51,618	3,1238	51,626	3,2914
7. Woche	51,632	3,1910	51,628	3,2263	51,630	3,3237	51,634	3,1260	51,636	3,2931
8. Woche	51,634	3,1924	51,634	3,2279	51,628	3,3250	51,634	3,1276	51,640	3,2946

Tab. (13) : Messwerte über Längen- und Gewichtsänderungen von PALADUR der Form 1

Prüfkörper	1		2		3		4		5	
	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)
24 Stunden	51,582	3,4486	51,580	3,5475	51,574	3,5266	51,590	3,6433	51,588	3,5160
1. Woche	51,604	3,4700	51,600	3,5685	51,598	3,5477	51,616	3,6638	51,616	3,5372
2. Woche	51,620	3,4762	51,614	3,5756	51,616	3,5542	51,636	3,6704	51,632	3,5440
3. Woche	51,634	3,4799	51,634	3,5795	51,638	3,5583	51,652	3,6745	51,644	3,5480
4. Woche	51,642	3,4827	51,646	3,5824	51,650	3,5610	51,656	3,6775	51,650	3,5507
5. Woche	51,652	3,4848	51,660	3,5844	51,662	3,5632	51,664	3,6797	51,666	3,5527
6. Woche	51,656	3,4870	51,676	3,5870	51,672	3,5653	51,670	3,6815	51,670	3,5546
7. Woche	51,650	3,4880	51,678	3,5878	51,680	3,5661	51,676	3,6825	51,670	3,5557
8. Woche	51,658	3,4889	51,670	3,5886	51,686	3,5670	51,676	3,6833	51,672	3,5565

Tab. (14) : Meßwerte über Längen- und Gewichtsänderungen von PALAPRESS der Form 1

Prüfkörper	1		2		3		4		5	
Zeit	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)
24 Stunden	51,610	3,6094	51,594	3,5945	51,600	3,7983	51,608	3,5924	51,596	3,6022
1. Woche	51,634	3,6290	51,620	3,6135	51,620	3,8180	51,630	3,6117	51,624	3,6212
2. Woche	51,652	3,6350	51,634	3,6200	51,636	3,8245	51,648	3,6181	51,644	3,6276
3. Woche	51,672	3,6388	51,646	3,6239	51,652	3,8289	51,664	3,6218	51,662	3,6316
4. Woche	51,676	3,6415	51,664	3,6269	51,672	3,8320	51,676	3,6247	51,670	3,6346
5. Woche	51,690	3,6447	51,678	3,6294	51,688	3,8346	51,690	3,6274	51,686	3,6372
6. Woche	51,700	3,6466	51,688	3,6315	51,700	3,8373	51,696	3,6297	51,688	3,6397
7. Woche	51,704	3,6473	51,694	3,6325	51,694	3,8387	51,690	3,6308	51,692	3,6409
8. Woche	51,708	3,6480	51,692	3,6337	51,700	3,8398	51,696	3,6316	51,692	3,6415

Tab. (45) : Meßwerte über Längen- und Gewichtsänderungen von PALADON der Form 1

Prüfkörper	1		2		3		4		5	
	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)
24 Stunden	51,406	3,1086	51,416	3,1925	51,414	3,0546	51,412	3,0530	51,410	3,1512
1. Woche	51,416	3,1223	51,426	3,2075	51,426	3,0690	51,414	3,0670	51,418	3,1658
2. Woche	51,430	3,1268	51,436	3,2116	51,444	3,0727	51,420	3,0710	51,428	3,1700
3. Woche	51,446	3,1294	51,448	3,2144	51,462	3,0753	51,438	3,0737	51,440	3,1725
4. Woche	51,454	3,1308	51,450	3,2162	51,470	3,0770	51,444	3,0751	51,448	3,1741
5. Woche	51,464	3,1323	51,462	3,2177	51,478	3,0782	51,458	3,0764	51,460	3,1755
6. Woche	51,464	3,1342	51,476	3,2195	51,486	3,0800	51,466	3,0782	51,472	3,1773
7. Woche	51,462	3,1343	51,482	3,2198	51,490	3,0803	51,460	3,0783	51,474	3,1775
8. Woche	51,464	3,1350	51,488	3,2202	51,492	3,0808	51,462	3,0790	51,474	3,1780

Tab. (16) : Messwerte über Längen- und Gewichtsänderungen von LUXENE der Form 1

Prüfkörper	1		2		3		4		5	
Zeit	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)
24 Stunden	51,560	3,3077	51,562	3,2096	51,558	3,2895	51,552	3,4071	51,564	3,3116
1. Woche	51,568	3,3087	51,564	3,2108	51,556	3,2904	51,560	3,4085	51,572	3,3128
2. Woche	51,566	3,3098	51,570	3,2112	51,568	3,2904	51,558	3,4086	51,568	3,3134
3. Woche	51,560	3,3098	51,566	3,2112	51,560	3,2904	51,564	3,4086	51,570	3,3134
4. Woche	51,570	3,3086	51,572	3,2100	51,566	3,2893	51,562	3,4076	51,576	3,3124
5. Woche	51,564	3,3098	51,564	3,2112	51,562	3,2904	51,556	3,4086	51,572	3,3134
6. Woche	51,562	3,3100	51,568	3,2115	51,566	3,2905	51,560	3,4087	51,564	3,3135
7. Woche	51,564	3,3100	51,572	3,2116	51,568	3,2906	51,564	3,4087	51,570	3,3135
8. Woche	51,568	3,3098	51,570	3,2114	51,568	3,2902	51,560	3,4084	51,574	3,3132

Tab. (17) : Meßwerte über Längen- und Gewichtsänderungen von ANDORAN der Form 2

Prüfkörper	1		2		3		4		5	
	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)
Zeit										
24 Stunden	51,170	3,8017	51,164	3,8372	51,172	3,7070	51,174	3,7982	51,168	3,7260
1. Woche	51,178	3,8106	51,166	3,8470	51,178	3,7159	51,174	3,8076	51,166	3,7350
2. Woche	51,170	3,8117	51,158	3,8479	51,166	3,7169	51,172	3,8087	51,174	3,7362
3. Woche	51,176	3,8118	51,162	3,8480	51,164	3,7170	51,180	3,8088	51,174	3,7363
4. Woche	51,178	3,8121	51,170	3,8482	51,174	3,7171	51,176	3,8091	51,170	3,7363
5. Woche	51,172	3,8122	51,162	3,8484	51,168	3,7173	51,176	3,8090	51,176	3,7363
6. Woche	51,176	3,8122	51,172	3,8484	51,172	3,7174	51,176	3,8091	51,170	3,7362
7. Woche	51,172	3,8121	51,168	3,8482	51,176	3,7174	51,174	3,8091	51,170	3,7361
8. Woche	51,174	3,8120	51,172	3,8480	51,174	3,7171	51,176	3,8087	51,172	3,7360

Tab. (18) : Meßwerte über Längen- und Gewichtsänderungen von PVS-H der Form 2

Prüfkörper	1		2		3		4		5	
Zeit	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)
24 Stunden	51,246	3,5975	51,250	3,6507	51,250	3,6493	51,248	3,6470	51,248	3,6215
1. Woche	51,282	3,6215	51,282	3,6748	51,284	3,6740	51,284	3,6718	51,282	3,6458
2. Woche	51,294	3,6304	51,290	3,6835	51,294	3,6830	51,294	3,6809	51,292	3,6550
3. Woche	51,306	3,6367	51,302	3,6899	51,306	3,6894	51,302	3,6872	51,302	3,6613
4. Woche	51,322	3,6416	51,318	3,6945	51,320	3,6943	51,318	3,6920	51,316	3,6662
5. Woche	51,332	3,6450	51,328	3,6986	51,336	3,6984	51,330	3,6966	51,328	3,6702
6. Woche	51,346	3,6485	51,346	3,7019	51,350	3,7021	51,344	3,7002	51,344	3,6737
7. Woche	51,354	3,6510	51,348	3,7045	51,360	3,7051	51,350	3,7032	51,352	3,6765
8. Woche	51,356	3,6527	51,354	3,7064	51,360	3,7067	51,356	3,7050	51,354	3,6771

Tab. (19) : Meßwerte über Längen- und Gewichtsänderungen von PALADUR der Form 2

Prüfkörper	1		2		3		4		5	
	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)
24 Stunden	51,254	3,8441	51,248	3,7520	51,244	3,8608	51,250	3,8435	51,258	3,7730
1. Woche	51,270	3,8684	51,268	3,7760	51,256	3,8845	51,268	3,8675	51,276	3,7966
2. Woche	51,282	3,8769	51,282	3,7840	51,276	3,8924	51,284	3,8762	51,296	3,8050
3. Woche	51,296	3,8819	51,296	3,7890	51,300	3,8978	51,304	3,8813	51,318	3,8102
4. Woche	51,302	3,8862	51,310	3,7930	51,308	3,9020	51,316	3,8855	51,320	3,8143
5. Woche	51,318	3,8890	51,322	3,7958	51,320	3,9050	51,334	3,8886	51,334	3,8173
6. Woche	51,318	3,8916	51,330	3,7985	51,330	3,9075	51,338	3,8915	51,328	3,8199
7. Woche	51,312	3,8930	51,330	3,7999	51,338	3,9090	51,330	3,8927	51,328	3,8212
8. Woche	51,318	3,8942	51,334	3,8003	51,338	3,9099	51,342	3,8937	51,334	3,8222

Tab. (20) : Meßwerte über Längen- und Gewichtshänderungen von PALAPRESS der Form 2

Prüfkörper	1		2		3		4		5	
Zeit	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)
24 Stunden	51,250	4,1880	51,262	4,0600	51,256	4,2040	51,256	4,1115	51,258	4,1812
1. Woche	51,264	4,2106	51,280	4,0818	51,274	4,2264	51,276	4,1337	51,270	4,2035
2. Woche	51,282	4,2186	51,300	4,0898	51,290	4,2344	51,294	4,1420	51,286	4,2117
3. Woche	51,306	4,2240	51,320	4,0945	51,312	4,2393	51,310	4,1472	51,304	4,2167
4. Woche	51,314	4,2281	51,324	4,0990	51,314	4,2438	51,326	4,1511	51,312	4,2210
5. Woche	51,332	4,2314	51,340	4,1022	51,332	4,2473	51,344	4,1545	51,330	4,2243
6. Woche	51,336	4,2339	51,344	4,1049	51,322	4,2500	51,346	4,1569	51,342	4,2265
7. Woche	51,336	4,2358	51,344	4,1063	51,340	4,2512	51,342	4,1587	51,346	4,2280
8. Woche	51,336	3,2370	51,344	4,1078	51,340	4,2526	51,340	4,1600	51,338	4,2293

Tab. (24) : Meßwerte über Längen- und Gewichtsänderungen von LUXENE der Form 2

Prüfkörper	1		2		3		4		5	
	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)
Zeit										
24 Stunden	51,274	3,6970	51,270	3,9020	51,270	3,7366	51,272	3,7666	51,268	3,7260
1. Woche	51,284	3,7003	51,280	3,9055	51,278	3,7396	51,278	3,7700	51,276	3,7290
2. Woche	51,276	3,7010	51,282	3,9064	51,276	3,7405	51,276	3,7709	51,282	3,7298
3. Woche	51,280	3,7012	51,280	3,9066	51,270	3,7407	51,274	3,7712	51,270	3,7301
4. Woche	51,288	3,7000	51,286	3,9056	51,274	3,7398	51,286	3,7700	51,276	3,7290
5. Woche	51,282	3,7018	51,284	3,9074	51,272	3,7411	51,280	3,7718	51,276	3,7306
6. Woche	51,284	3,7019	51,286	3,9076	51,278	3,7412	51,284	3,7720	51,280	3,7308
7. Woche	51,280	3,7022	51,282	3,9080	51,282	3,7417	51,280	3,7723	51,278	3,7311
8. Woche	51,286	3,7017	51,280	3,9075	51,278	3,7412	51,282	3,7719	51,276	3,7309

Tab. (22) : Messwerte über Längen- und Gewichtsänderungen von PALADON der Form 2

Prüfkörper	1		2		3		4		5	
	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)
24 Stunden	51,186	3,3889	51,190	3,2881	51,194	3,4810	51,196	3,4775	51,192	3,2721
1. Woche	51,234	3,4065	51,238	3,3050	51,248	3,4990	51,250	3,4956	51,242	3,2891
2. Woche	51,252	3,4126	51,244	3,3111	51,270	3,5053	51,260	3,5017	51,254	3,2951
3. Woche	51,264	3,4163	51,260	3,3146	51,284	3,5090	51,262	3,5054	51,268	3,2986
4. Woche	51,280	3,4176	51,284	3,3164	51,296	3,5110	51,282	3,5078	51,286	3,3003
5. Woche	51,280	3,4207	51,284	3,3193	51,292	3,5138	51,288	3,5100	51,294	3,3027
6. Woche	51,284	3,4226	51,286	3,3210	51,306	3,5159	51,292	3,5120	51,300	3,3045
7. Woche	51,284	3,4233	51,286	3,3217	51,294	3,5167	51,286	3,5130	51,300	3,3051
8. Woche	51,278	3,4238	51,288	3,3222	51,292	3,5173	51,294	3,5136	51,298	3,3055

Tab. (23) : Meßwerte über Längen- und Gewichtänderungen von ANDORAN "geglänzt"

Prüfkörper	1		2		3		4		5	
	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)	Länge (mm)	Gewicht (g)
Zeit										
24 Stunden	51,156	3,9027	51,152	3,9333	51,154	3,8938	51,150	3,9553	51,152	3,9006
1. Woche	51,152	3,9111	51,150	3,9415	51,154	3,9018	51,156	3,9636	51,156	3,9086
2. Woche	51,156	3,9118	51,158	3,9419	51,152	3,9029	51,158	3,9641	51,150	3,9091
3. Woche	51,164	3,9113	51,158	3,9420	51,148	3,9022	51,152	3,9641	51,146	3,9090
4. Woche	51,156	3,9112	51,156	3,9418	51,150	3,9022	51,152	3,9642	51,154	3,9090
5. Woche	51,158	3,9110	51,154	3,9415	51,146	3,9018	51,152	3,9638	51,150	3,9085
6. Woche	51,154	3,9108	51,152	3,9415	51,150	3,9017	51,148	3,9638	51,146	3,9084
7. Woche	51,156	3,9102	51,150	3,9410	51,152	3,9013	51,156	3,9632	51,152	3,9084
8. Woche	51,154	3,9097	51,154	3,9403	51,156	3,9007	51,148	3,9627	51,154	3,9078

b) Spezieller Teil

Die dimensionellen Veränderungen, die während der Herstellung von Kunststoff-Prüfkörpern auftreten, beruhen auf grundlegenden physikalischen Eigenschaften des Kunststoffes, die Expansion bei Wässerung der Proben ist Folge der Wasseraufnahme.

Die Abb. (10 - 13) zeigen Mittelwertskurven der zu untersuchenden Kunststoffe mit ihren Konfidenzintervallen.

In Abb. 10 bzw. 12 (für Form 2) sind auf der y-Koordinate die Längenwerte in mm aufgetragen, die x-Koordinate zeigt die Meßzeitpunkte:

24 Stunden	=	Verarbeitungs- u. 24 stündige Nachschwindung nach dem Ausbetten
1. - 8. Woche	=	die Meßzeitpunkte zeigen jeweils eine Zeitspanne von 7 Tagen bei Wasserlagerung der Proben.

In Abb. 11 bzw. 13 (für Form 2) sind auf der y-Koordinate die Gewichtszunahmen der Prüfkörper durch Wasseraufnahme in % der Ausgangswerte angezeigt, die x-Koordinate zeigt wiederum die Meßzeitpunkte im Zeitintervall von 7 Tagen.

Abb. 10:

24 Stunden nach dem Ausbetten zeigen die Kaltplaste PALAPRESS und PALADUR die größte Paßgenauigkeit gegenüber dem Grundmodell von 51,830 mm, während das Heißpolymerisat PALADON die größte Abweichung aufweist. Der Spritzguß-Kunststoff PVS-H und der Schmelz-Preß-Kunststoff LUKENE unterscheiden sich nicht in ihren Konfidenzbereichen und zeigen eine Schwindung von ca. 0,280 mm. PALAPRESS hat eine Schwindung von nur 0,230 mm, PALADUR 0,232 mm. ANDORAN 0,360 mm und PALADON 0,425 mm.

Abb. 10 Längenänderung der
Kunststoffe - Form 1 -

51.330 (= Ausgangsform)

(Mittelwertskurven mit Konfidenzintervallen)

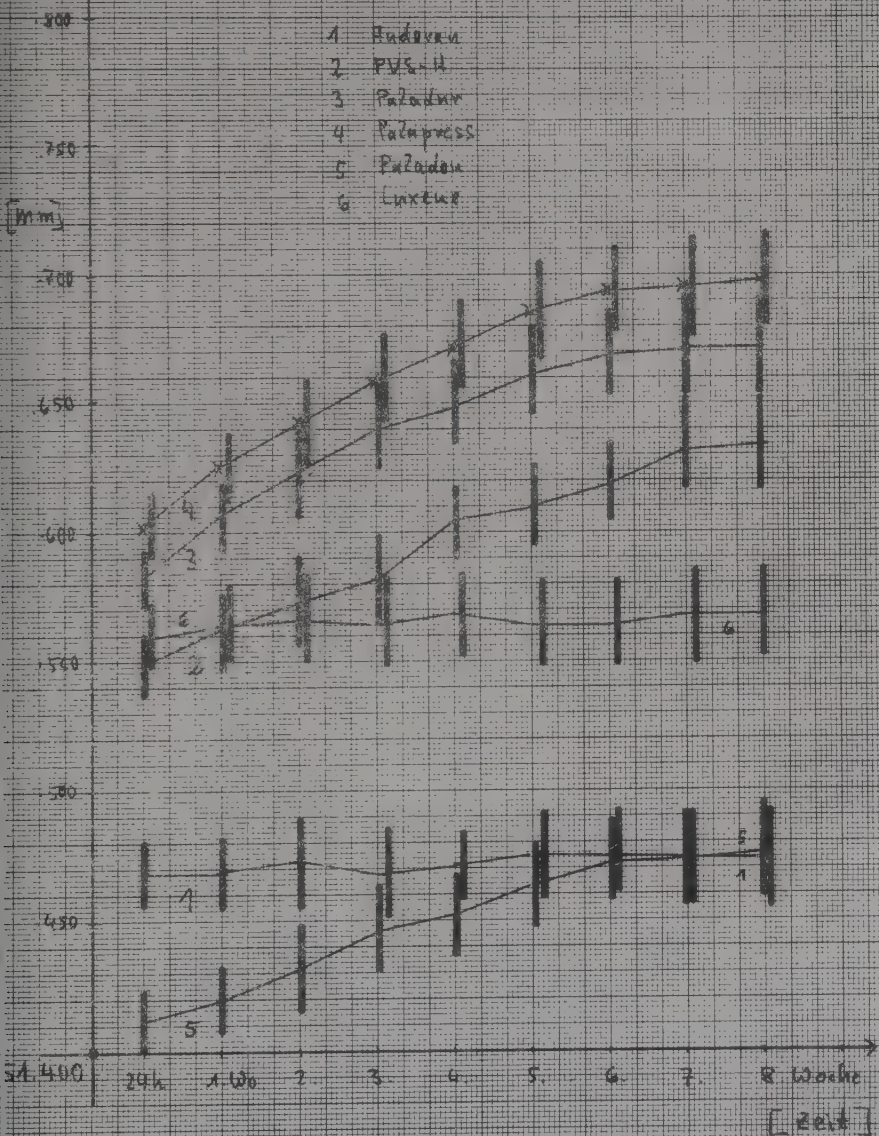
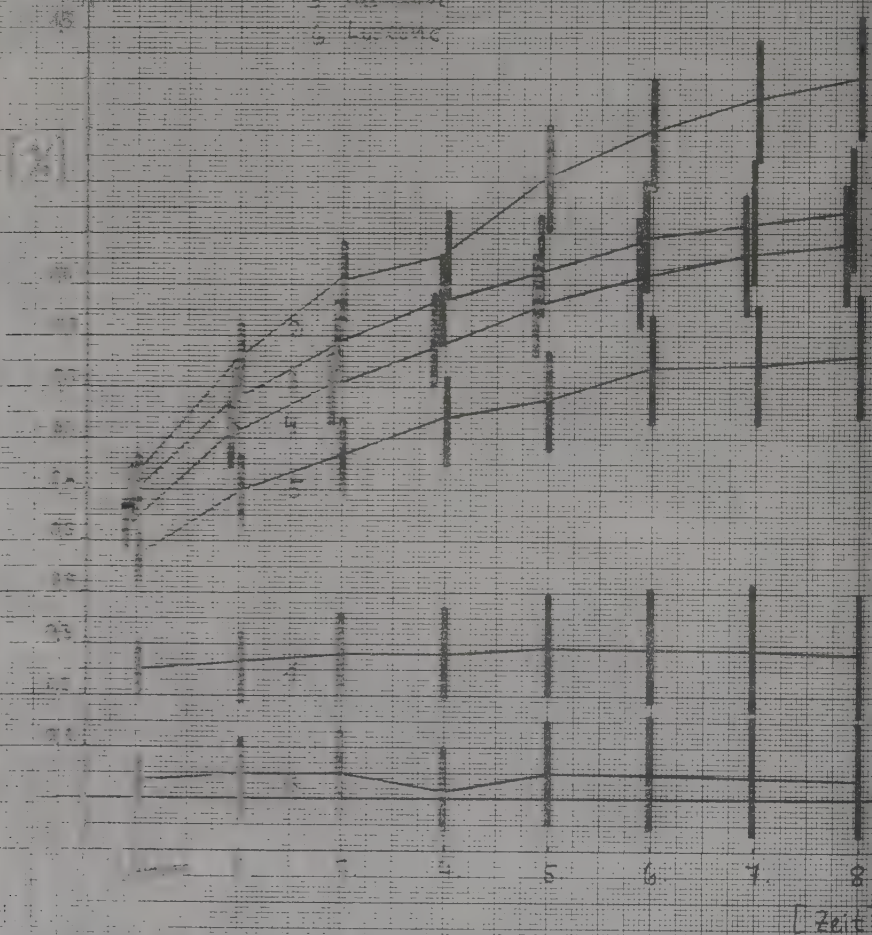


Abb. 41 Gewichtsänderung der
Ausstöße - Form 1 -
(Mittelwertkurven mit Konfidenzintervallen)

1. Pindoran
2. DVT 4
3. Pindoran
4. Palapress
5. Pindoran
6. Lucene



Relativ dimensionsstabil über die Zeit bleiben die Kunststoffe LUXENE und ANDORAN, während die restlichen Kunststoffe mehr oder weniger stetig expandieren. Die Mittelwertkurven mit ihren Konfidenzbereichen für PALAPRESS und PALADUR unterscheiden sich in jedem Zeitpunkt voneinander. Beide Plaste expandieren bis zur 6. Woche gleichstark, danach nur noch geringfügig, PALADUR nimmt sogar in der 8. Woche leicht ab. Auffallend ist der unruhige Kurvenverlauf von PVS-H, was JANKE (17) als Folge der Zwangsstrukturierung der Moleküle bei Spritzkunststoffen wertet. In der 4. Woche expandiert PVS-H sprunghaft, in der 8. Woche ohne Bedeutung. PVS-H und LUXENE unterscheiden sich in den ersten 2 Wochen nicht voneinander, sondern erst danach. PALADON zeigt ein verhältnismäßig stetes Expandieren und unterscheidet sich ab der 5. Woche nicht mehr von ANDORAN.

Abb. 11:

Nach einwöchiger Wässerung der Prüfkörper unterscheiden sich die Kunststoffe PALAPRESS und PALADUR in ihrer Gewichtszunahme durch Wasseraufnahme nicht, während die übrigen sich eindeutig voneinander abgrenzen lassen: LUXENE verzeichnet mit geringer als 0,05 % Gewichtszunahme zum Ausgangswert die geringste Wasseraufnahme, in der 4. Woche ist eine geringfügige Gewichtsabnahme zu verzeichnen, die im folgenden Meßzeitpunkt wieder ausgeglichen wird. Der Verlauf von LUXENE zeigt insgesamt nach einer Woche Wässerung relative Gewichtskonstanz. Ebenso die Mittelwertkurve von ANDORAN, das nach einwöchiger Wässerung (0,25 %) eine geringe Gewichtszunahme um 0,05 % bis etwa 6. und 7. Woche hat und dann etwas abfällt. Einen anderen Verlauf nehmen die auf der Basis von Methakrylat hergestellten Prüfkörper: hier zeigt sich gleichermaßen eine stete Gewichtszunahme der Kunststoffe, lediglich PVS-H zeigt in der 4. Woche eine geringere Gewichtszunahme, was in der 5. Woche wieder ausgeglichen wird. Die Kaltplaste

PALADUR und PALAPRESS unterscheiden sich zu jeder Meßzeit und nehmen nach 1 Woche Wässerung ca. 0,55 % an Gewicht zu, nach der 8. Woche das Doppelte.

Abb. 12:

Die Konfidenzbereiche der Kunststoffe wurden der Übersicht halber nur auf der Mittelwertskurve für PALADON aufgetragen. Die entsprechenden Balken der anderen Kunststoffe muß man sich gedanklich zu jedem Meßzeitpunkt auf die anderen Kurven übertragen.

Was die Größe des Randspaltes zwischen Kunststoff und Metall angeht, so unterscheiden sich die Kunststoffe PVS-H, PALADUR und PALAPRESS 24 Stunden nach Ausbettung nicht voneinander. Die Schwindung beträgt 0,200 mm, das entspricht einer Spaltbreite von 0,100 mm. LUXENE schneidet mit geringer als 0,100 mm Randspaltbreite am besten, ANDORAN "geglänzt" mit ca. 0,150 mm am schlechtesten ab. PALADON liegt ungefähr mit 0,120 mm Spaltbreite dazwischen. Für alle Kurven auffallend ist der "unruhige" Verlauf, höchstwahrscheinlich auf die unterschiedlichen Materialflächen bei der Einbettung zurückzuführen (Unterlage V₂A-Stahl und Oberseite Gips des Konters). Aber dessenungeachtet zeigen auch hier die Kunststoffe gleichen Chemismus wie PVS-H, PALADUR, PALAPRESS und PALADON eine stetige Quellung und damit Reduzierung der Spaltbreite, während die Kunststoffe LUXENE und ANDORAN ziemlich dimensionsstabil bleiben, d.h. die anfängliche Randspaltbreite sich im Laufe der Zeit nicht ändert.

Abb. 13:

Auffallend sind die sehr kleinen Konfidenzintervalle in allen Zeitpunkten der Mittelwertskurven, bedingt durch die spiegelglatten Oberflächen der Prüfkörper (in Stahlform hergestellt).

Es unterscheiden sich alle Kunststoffe in der Gewichtszunahme voneinander. Wiederum eine stetige Gewichtszunahme der Kunststoffe auf Methakrylatbasis und relative Gewichtskonstanz bei ANDORAN und LUXENE.

Abb. 12 Längenänderung der Kunststoffe - Form 2 -

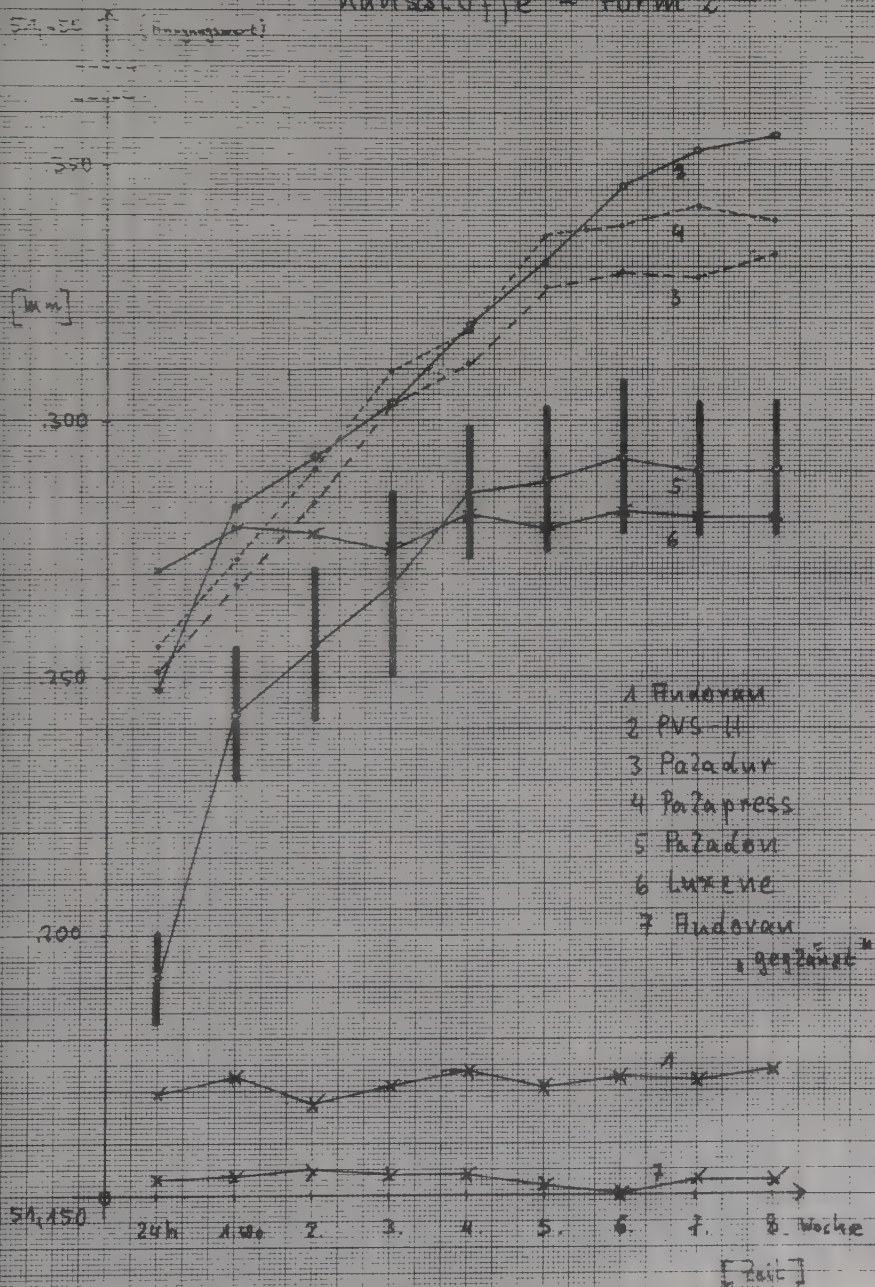
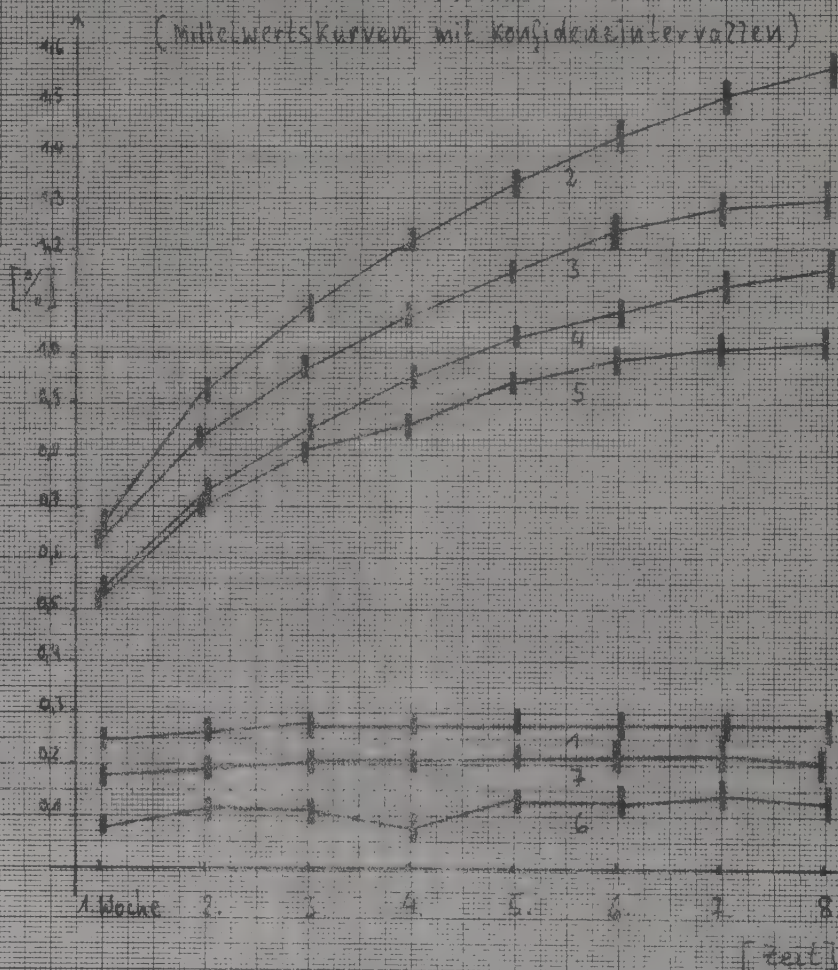


Abb. 13 Gewichtsänderung der Kunststoffe - Form 2 -



1 Andoran

2 PVS-H

3 Paladur

4 Palapress

5 Paladon

6 Luxene

7 Andoran

geglättet

9. Diskussion der Ergebnisse

Die Meßergebnisse haben durchweg signifikante Unterschiede zwischen den Materialien verschiedenen Chemismus gezeigt, was besonders das Formverhalten während der Wässerung, als auch die Gewichtszunahme in % der Ausgangsgewichtswerte betrifft.

Die Kunststoffe auf Methakrylatbasis wie PALAPRESS, PALADUR, PALADON 65 und PVS-H (ob chemo- oder thermoplastisch verarbeitet, kalt- oder heißpolymerisiert) haben eindeutig während der 8 wöchigen Wässerung eine stete Expansion und Wasseraufnahme gezeigt, während ANDORAN auf Polykarbonatbasis und LUXENE 44 als Mischpolymerisat von Vinylazetat, Vinylchlorid und Methakrylsäuremethylester relativ dimensionsstabil und gewichtskonstant geblieben sind.

Die Kaltplaste PALAPRESS und PALADUR haben sich dem Heißpolymerisat PALADON 65 als deutlich überlegen in der Paßgenauigkeit erwiesen, was auf die Auswirkung der Abkühlungskontraktion zurückzuführen ist. Bei den Kaltplasten wird die entstehende Reaktionswärme schon während des Polymerisationsvorganges durch den Gips abgeleitet, während das Heißpolymerisat von der Polymerisationstemperatur auf Zimmertemperatur eine nach seinem therm. Ausdehnungskoeffizienten zu berechnende entsprechende Schwindung aufweist. PALAPRESS hat von allen Kunststoffen die größte Paßgenauigkeit gehabt und schwindet lediglich bei einer Modell-Ausgangsform von ca. 50 mm um nur 0,230 mm und PALADUR um 0,232 mm gegenüber PALADON 65 mit 0,425 mm, das die schlechteste Paßgenauigkeit aller untersuchten Proben aufgewiesen hat.

Der Spritzkunststoff ANDORAN hat mit 0,360 mm Schwindung die zweit schlechteste Ausgangspaßform gezeigt, während

der Spritzkunststoff PVS-H und auch LUXENE (im Schmelz-Preß-Verfahren hergestellt), beide mit nur 0,280 mm Schwindung, in die Nähe der Kaltplaste gerückt sind.

Obwohl ANDORAN einen geringeren therm. Ausdehnungskoeffizienten als PVS-H hat, schwindet es dennoch um ca. 0,08 mm mehr. Das läßt sich nur so erklären, daß die Einfriertemperatur für PVS-H geringer sein muß als die für ANDORAN (140°C). Erst von der Einfriertemperatur an ist die thermische Kontraktion bei Spritzgußkunststoffen interessant. Der davor liegende Schwund - beim Übergang vom flüssig heißen in den festen heißen Zustand - wird durch entsprechenden Nachdruck und damit Nachschieben von noch plastischem Material ausgeglichen.

Was die Größe des Randspaltes zwischen Metall und Kunststoff angeht, so haben sich die Kaltplaste als auch der Spritzgußkunststoff PVS-H 24 Stunden nach dem Ausbetten nicht voneinander signifikant unterschieden: ihre Schwindung hat 0,2 mm betragen, das entspricht einer Spaltbreite von 0,1 mm. LUXENE hat mit geringer als 0,1 mm Spaltbreite am besten abgeschnitten, ANDORAN "geglänzt" mit ca. 0,15 mm am schlechtesten. PALADON 65 lag mit ca. 0,12 mm Spaltbreite dazwischen.

Bei Wässerung hat sich der größte Schwundausgleich durch Quellung beim Heißpolymerisat PALADON 65 gezeigt, nämlich um ca. 0,1 mm, das entspricht einer Reduzierung des Randspaltes nach 8 wöchiger Wässerung um 0,05 mm. Die beiden Kaltplaste haben einen ähnlichen Schwundausgleich gezeigt wie PVS-H, das etwa nach 7 Wochen Wässerung unbestreitbar den geringsten Randspalt hatte, nur noch 0,05 mm. ANDORAN mit einem Randspalt von ca. 0,15 mm und LUXENE 44 mit weniger als 0,1 mm Spalt haben kaum einen Schwundausgleich zu verzeichnen gehabt.

In dieser Arbeit ist weiterhin die Gewichtszunahme der Prüfkörper durch Wasseraufnahme in Gewichts % der Ausgangswerte bestimmt worden. Dabei hat sich gezeigt, daß lediglich in der ersten Woche der Wässerung die Kunststoffe LUXENE (unter 0,1 %) und ANDORAN (0,25 %) geringfügig Wasser aufnehmen, später kaum noch feststellbar. Die übrigen Kunststoffe auf Methakrylatbasis haben über die Zeit von 8 Wochen stetig Wasser aufgenommen, PALADON (1 %) etwas weniger als PALADUR (1,2 %) und PALAPRESS (1,3 %). Am meisten hat der im thermoplastischen Verfahren hergestellte PVS-H Kunststoffkörper Wasser aufgenommen (ca. 1,5 %), was JANKE (14) bei unvernetzten Methakrylaten bestätigt.

10. Zusammenfassung

In vorliegender Arbeit sind die Kunststoffe PALADUR, PALAPRESS, PALADON 65, PVS-H, ANDORAN und LUXENE 44 auf Paßgenauigkeit, Formtreue und Wasseraufnahme, sowie auf Spaltbildung zwischen Metall und obigen Kunststoffen untersucht worden.

Dabei haben die Kunststoffe auf Methakrylatbasis wie PALADUR, PALAPRESS, PALADON 65, PVS-H eindeutig während der 8 wöchigen Wässerung eine stete Expansion und Wasseraufnahme gezeigt, während ANDORAN auf Polymkarbonatbasis und LUXENE 44 als Copolymerisat auf Vinylbasis relativ dimensionsstabil und gewichtskonstant geblieben sind. PALAPRESS hat von allen Kunststoffen die größte Paßgenauigkeit gehabt und schwindet lediglich bei einer Modell-Ausgangsform von ca. 50 mm um nur 0,230 mm und PALADUR um 0,232 mm gegenüber PALADON 65 mit 0,425 mm, das die schlechteste Paßgenauigkeit aller untersuchten Proben aufgewiesen hat. ANDORAN hat mit 0,360 mm Schwindung die zweit schlechteste Ausgangsmaßform gezeigt, während PVS-H und auch LUXENE 44, beide mit nur 0,280 mm Schwindung, in die Nähe der Kaltplaste gerückt sind.

Was die Größe des Spaltes zwischen Metall und den untersuchten Kunststoffen angeht, so haben sich PALAPRESS und PALADUR als auch PVS-H 24 Stunden nach dem Ausbetten nicht voneinander signifikant unterschieden: ihre Schwindung hat 0,200 mm betragen, das entspricht einer Spaltbreite von 0,1 mm, LUXENE 44 hat mit geringer als 0,1 mm Spaltbreite am besten abgeschnitten, ANDORAN "geglänzt" mit ca. 0,15 mm am schlechtesten. PALADON 65 lag mit ca. 0,12 mm Spaltbreite dazwischen.

Bei 8 wöchiger Wässerung haben die Kunststoffe auf Methakrylatbasis einen Schwundausgleich durch Quellung von

ca. 0,1 mm gezeigt, das entspricht einer Reduzierung des Spaltes um 0,05 mm, während LUXENE 44 und ANDORAN keinen nennenswerten Schwundausgleich zu verzeichnen hatten.

Die Gewichtszunahme der Prüfkörper durch Wasseraufnahme in Gewichts % der Ausgangswerte nach 8 wöchiger Wässerung betrug für:

1. PALADUR	1,2	%
2. PALAPRESS	1,3	%
3. PALADON 65	1,0	%
4. PVS-H	1,5	%
5. LUXENE 44	0,1	%
6. ANDORAN	0,25	%

Dabei hat sich gezeigt, daß die Kunststoffe LUXENE 44 und ANDORAN nur in der ersten Woche der Wässerung geringfügig Wasser aufnehmen, während die übrigen Kunststoffe auf Methakrylatbasis über die Zeit von 8 Wochen stetig Wasser aufnehmen.

11. Literaturverzeichnis

1. Anderes, Th. Über die Paßform von Kunststoffprothesen
Schweiz. Mschr. f. Zahnheilk.
5, 531 (1952)
2. Anthony, D. Dimensional accuracy of various
Peyton, F. denture-base materials
J. Pros. Den. 12, 67 (1962)
3. Appenzeller, M. Materialprüfungen an neuen
Zahnprothesen-Kunststoffen
Schweiz. Mschr. f. Zahnheilk.
6, 56 (1946)
4. Bauer, E. "Wie soll polymerisiert werden"
Zahnärztl. Welt u. Reform
6, 7 (1951)
5. Böhme, E. Kunststoffe, 60, 273 (1970)
6. Breustedt, A. Neue Kunststoffe und Probleme
ihrer Verarbeitung in der
zahnärztlichen Prothetik
Dtsch. Stomat. 15, 776 (1965)
7. Dewein, H. Einführung in die zahnärzt-
lichen Kunststoffprobleme
8. Eichner, K. Leitfaden zahnärztl. Werkstoffe
und ihrer Verarbeitung
S. 101 - 114, Berlin 1967
9. Eichner, K. Untersuchungen über veränderte
Prothesenbasis-Kunststoffe und
sogenannte werkstoffverbessern-
de Arbeitsweisen
Zahnärztl. Welt und Reform
66, 358 (1965)
10. Engelhard, J. Neue Kunststoffe in der zahn-
ärztl. Prothetik
Zahnärztl. Prax. 20, 193 (1966)

11. Holland, L.
Lockowandt, P. Eine röntgenfotogrammetrische Methode zur Bestimmung von Formveränderungen an Zahnprothesen während der klin. Anwendung
Odontologisk Revy 17, 55 (1966)
Grundriß für Kunststofftechnologie
Akadem. Verlagsgesellschaft
Becker u. Erler, Leipzig 1944
12. Houwink, R. Über die fugendichte Verbindung von Kunststoff und Metall
Zahnärztl. Welt u. Reform 7, 509 (1952)
13. Janke, G. Das Gewichts-, Volumen- und Dichteverhalten unvernetzter Kunststoffe bei Austrocknung und Wasseraufnahme in Abhängigkeit von der Verarbeitung
Dtsch. Zahnärztl. Z. 12, 1464 (1957)
14. Janke, G. Die Abhängigkeit der Protheseneigenschaften von der Laborverarbeitung
Dtsch. Zahnärztl. Z. 21, (1955)
15. Janke, G. Das Spritzverfahren zur Herstellung von Kunststoffprothesen
Dtsch. Zahnärztl. Z. 17, 1057 (1962)
16. Janke, G. in Eichner (8) S. 86 - 100
17. Janke, G. Repetitorium der werkstoffkundlichen Grundlagen der Zahnprothetik
Verl. Neuer Merkur Bd. 2 (1965)
18. Knischewski, F.

19. Marx, H. Zur Polymerisationsproble-
matik dentaler Methakrylate
Sonderdruck aus der Zahnärztl.
Welt u. Reform H.23 (1960)
20. Marx, H. Über den Einfluß unterschied-
licher technologischer Be-
dingungen bei der Herstellung
von Kunststoff-Prothesen
Das Dental-Labor 2, 43 (1963)
21. Marxkors, R. Erfahrungen mit dem Prothesen-
Thomas, K. kunststoff Luxene 44
Sonderdruck aus Das Deutsche
Zahnärzteblatt H.21 (1963)
22. Mayer, D. Volumenschwund und Paßgenauig-
keit bei Kunststoffprothesen
Dtsch. Zahn-, Mund- und
Kieferheilkunde 22, 228 (1955)
23. Mowery, E.W. Dimensional stability of
denture base resins
J.A.D.A. 57, 345 (1958)
24. Rink, G. Die schnellhärtenden Kunststoffe
Dtsch. Zahnärztl. Z. 7, 763 (1952)
25. Ritze, H. Quellung und Kunststoffe
Dtsch. Zahnärztl. Z. 11, 1245 (1965)
26. Schröder, A. Die Eignung der Methakrylate
als Prothesenstoffe im Lichte
neuerer Untersuchungen
Schweiz. Mschr. f. Zahnheilkunde
62, 1110 (1952) und
63, 961 (1953)
27. Schlamp, H. Untersuchungen einiger Prothesen-
kunststoffe auf Restmonomer
Med. Diss. Mainz (z.Zt. im Druck)
28. Schuster, W. Ein Beitrag zur Formkonstanz
von Kunststoffprothesen
Med. Diss. (Rostock 1955)

29. Schwickerath, H. Zur Frage der Formveränderung
Zahnärztl. Welt u. Reform
67, 287 (1966)
30. Schwickerath, H. Grundsätzliches zur Verstärkung
von Kunststoffen
Zahnärztl. Welt u. Reform
66, 124 (1965)
31. Stegemann, K. Korrosionserscheinungen an
Dental-Legierungen
Zahnärztl. Rsch. 72, 80 (1963)
32. Stuart, H.A. Die Physik der Hochpolymeren
Springer Verl. Berlin-Göttigen-
Heidelberg (1955)
33. Uhlig, H. Schwundlenkung bei Kunststoff-
prothesen
Zahnärztl. Prax. H. 4 (1952)
34. Wiche, H. Experimentelle Untersuchungen
über die Spaltbildung zwischen
Versuchskörpern aus einer
Chrom-Kobalt-Molybdän-Legierung
und Prothesenkunststoffen
Med. Diss. Frankfurt (1971)
35. Woelfel, J.B. Dimensional Changes occuring
Paffenbarger u. in dentures during processing
Sweeny, W.T. J.A.D.A. 61, 413 (1960)
36. Woelfel, J.B. Changes in dentures during
Paffenbarger u. storage in water and in service
Sweeny, W.T. J.A.D.A. 62, 643 (1961)

Statistische Literatur:

37. Weber, E. Grundriß der Biologischen
Statistik.
Gustav Fischer Verlag - Stuttgart
1967

Für die Überlassung des Themas und die fachliche Unterstützung möchte ich besonders Herrn Prof. Dr. Heinz Marx danken.

Mein Dank für die Übernahme des Korreferates gilt Herrn Prof. Dr. K. Fuhr, sowie Herrn Dr. Scheidt für die Unterstützung auf dem statistischen Gebiet dieser Arbeit.

Ferner möchte ich mich bedanken für die Überlassung des Kunststoffes und den Gebrauch der Maschinen bei den Herren Dr. Wirtz (Polyapress), Dr. Wagner (Luxene) und Meinhard (Andoran).

Lebenslauf

Name: Erich Volkmar Torner, geb. 20.9.1941
in Königsberg/Ostpreußen

Beruf: Zahnarzt, Approbation am 19. Juli 1970

Vater: Erich Gustav Torner

Beruf: Architekt

Mutter: Miriam Torner, geb. Rekowski

Beruf: Hausfrau

Geschwister: Randolph Torner
Evelyn Torner

Beruf: beide in steuerberuflicher Ausbildung

Ausbildung: 1. Grundschule von 1948 - 1953
2. Gymnasium von 1953 - 1962
Abitur 1962 in Kirchheim-Teck

Unterbrechung der Ausbildung durch Einberufung 1962 zur
Bundeswehr. Abgang 1964 als Leutnant der Reserve.

3. Studium der Rechtswissenschaft in
Tübingen von 1964 - 1965

4. Studium der Zahnheilkunde in Mainz
von 1965 - 1970 (Staatsexamen Juli 1970)

5. Zur Zeit Assistent in der prothetischen
Abteilung der Klinik und Poliklinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes Gutenberg-Universität
in Mainz.

